



SOFTWARE DE MONITORITZACIÓ DE DADES REBUDES EN UN GPS

Memòria del Projecte Fi de Carrera
d'Enginyeria en Informàtica

realitzat per

Alejandro Comín Gimeno

i dirigit per

Joan Oliver Malagelada

Bellaterra, 12 de Juny de 2006

El sotasignat, Joan Oliver Malagelada

Professor de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per en Alejandro Comín Gimeno

I per tal que consti firma la present.

Signat:

Bellaterra, 12 de Juny de 2006

AGRAÏMENTS

En primer lloc agrair la dedicació i el temps invertit en resoldre dubtes, donar consells, reunions,... en definitiva, fer de guia en el procés d'elaboració i creació d'aquest projecte al director del mateix, el Sr. Joan Oliver Malagelada.

També un agraïment a tots els professors de la Titulació, ja que gràcies als coneixements transmesos durant aquests anys, han fet que a diferents nivells, el desenvolupament d'aquest projecte hagi estat possible.

No puc deixar d'agrair a tots els companys, amb els que en algun moment al llarg d'aquests darrers cinc anys hem coincidit fent pràctiques, dedicant-hi moltes -potser massa- hores i esforços.

S'enyorará l'eterna lluita per aconseguir un ordinador a les "peixeres" de l'ETSE en moments de màxim estrès del semestre, i comprovar com aquests es trobaven reservats per companys que es dedicaven a jugar a l'Unreal o al Quake; a ells també, gràcies.

Agrair al Nàstic les bones estones a Segona B i a Segona i les que ens esperen la propera temporada a Primera.

I com no podia ser d'altra manera, donar les gràcies a família i a amics per la comprensió, la paciència i el suport rebuts.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS.....	1
1.1. Introducció.....	1
1.2. Objectius	1
2. ESTUDI DE VIABILITAT.....	4
2.1. Planificació	4
2.2 Eines emprades	7
3. ENTORN D'APLICACIÓ	9
3.1. Introducció.....	9
3.2. Geodèsia.....	9
3.3. Cartografia.....	15
4. CALIBRATGE I TRANSFORMACIÓ DE COORDENADES	30
4.1. Introducció.....	30
4.2. Calibratge d'un mapa	30
4.3. Transformació de coordenades.....	39
4.4 Importància del datum en el calibratge.....	41
5. CONEIXEMENT DE LA POSICIÓ	47
5.1. Adquisició de dades	47
5.2 Dades enviades pels satèl·lits.....	47
5.3 Formats d'interpretació de les dades.....	48
5.4. Reconeixement de dades de l'aplicació	51
6. APLICACIÓ PFC	53
6.1. Introducció.....	53
6.2. Funcionalitat implementada	53
6.3. Tractament de les dades	54
6.4. Desenvolupament de l'aplicació	56
7. CONCLUSIONS I MILLORES	59
7.1. Conclusions.....	59
7.2. Millores	60
8. BIBLIOGRAFIA	62

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

1.1. Introducció

S'entén com a GPS, el sistema global de posicionament que permet ubicar un objecte sobre la superfície terrestre a partir de les dades enviades (espai i temps) per un sistema de satèl·lits que orbita al voltant de la terra.

Com a tal, el sistema GPS avarca un ampli ventall d'àmbits d'estudi, i per ell mateix engloba multitud de coneixements i aplicacions complexos, tant des del punt de vista de la ciència com de la tecnologia.

Dins del món del GPS es pot parlar de diferents camps implicats, com són l'espacial pel que fa la situació estratègica dels satèl·lits de la constel·lació GPS a l'òrbita de la terra; el de les comunicacions, que permet la transmissió d'informació per aquests satèl·lits als receptors GPS; la geodèsia, que aporta representacions aproximades de la forma de la terra; la cartografia, amb la qual es poden fer representacions planes del planeta; el camp del software, que proporciona eines capaces de tractar les dades rebudes; entre d'altres.

Aquest projecte està centrat en una de les parts que forma el món de la comunicació GPS; s'ha considerat la vessant que proporciona una representació plana de la terra, i que permet el posicionament i el traçat de rutes sobre superfícies planes.

1.2. Objectius

L'objectiu principal d'aquest projecte és realitzar el posicionament d'un objecte sobre un mapa (mapejat) a través de la informació rebuda mitjançant un GPS.

Així doncs, no es pretén entrar en detall en les transformacions que pateixen aquestes des de que són transmeses pels satèl·lits fins que arriben a un receptor GPS (ja sigui PC, PDA,

etc), sinó que es vol veure quin és el tractament que s'ha d'aplicar a les dades ja tractades pel receptor, perquè puguin ser mostrades en un mapa en la pantalla d'un ordinador.

És una aproximació a l'últim dels esglaons pels quals passen les dades transmeses pels satèl·lits de la constel·lació GPS, i que permet el desenvolupament d'una aplicació software que tracta aquestes dades.

Per altra banda, el projecte té un objectiu més personal i curricular, com és adquirir i ampliar coneixements sobre un tema com el funcionament intern de les comunicacions GPS, així com també conèixer quin és el tractament que les dades enviades pels satèl·lits han de rebre per a poder operar amb elles.

Tampoc no es pot oblidar el fet que aquest projecte ha servit per aplicar metodologies i coneixements adquirits al llarg de la Titulació i que han donat com a resultat l'aplicació que l'acompanya.

Així doncs, i els objectius concrets del projecte són

- Estudi de les eines que ens proporcionen ciències com la cartografia i la geodèsia en referència al mapejat i el seu tractament a nivell informàtic.
- Calibratge d'un mapa (superfície plana) un cop conegudes aquestes eines.
- Transformació dels diferents tipus de coordenades amb què es pot treballar a l'hora de mapejar.
- Captació i tractament de les dades rebudes a través de dispositius GPS al PC, per a realitzar el posicionament de la ubicació actual.
- Creació d'una aplicació software, en la qual s'incloguin tots els aspectes vistos teòricament, per comprovar el seu funcionament en una aplicació real.

El tema és, evidentment, de vital importància en molts dels camps actuals, tant de la ciència com de la indústria. No cal dir, que per aquest motiu han aparegut diversos programes comercials que satisfan aquestes noves necessitats. Un d'ells és TomTom, una eina molt utilitzada en l'actualitat per a la navegació per carretera.

OziExplorer és una altra d'aquestes eines, més genèrica que TomTom, però àmpliament emprada per la comunitat d'usuaris GPS, ja que ofereix suport per a tot tipus de dispositius. Algunes de les característiques que podem destacar d'OziExplorer són:

- Càrrega i calibratge de mapes.
- Capacitat de treball amb diferents tipus de coordenades.
- Captació de dades de dispositius GPS i traçat de rutes.

L'aplicació que acompanya el projecte mimetitzava en part el funcionament d'aquesta eina. El fet de realitzar una aplicació més, tenint en compte que OziExplorer és un software més complet, s'explica per la necessitat d'entendre els mecanismes de traducció que s'estableixen entre les dades emeses pels satèl·lits, els canals de transmissió de dades, i finalment, la recepció per part del receptor GPS.

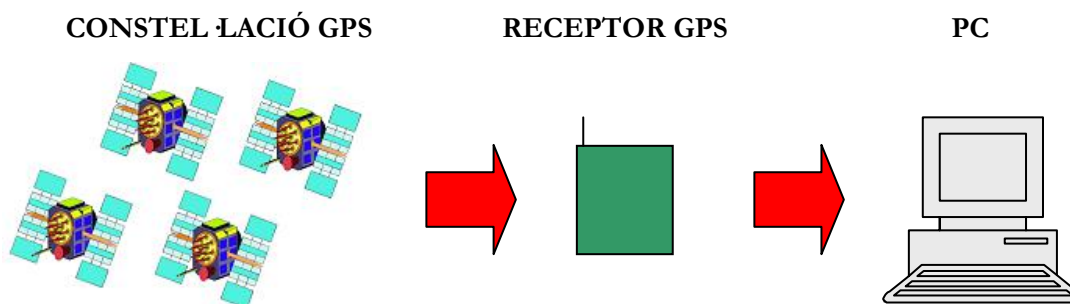


Figura 1.1. Esquema de la comunicació bàsica GPS.

A la **Figura 1.1** es pot veure un esquema d'una comunicació estàndard GPS. Les dades enviades pels satèl·lits arriben a un receptor GPS, que s'encarrega de traduir-les a un format amb què puguin treballar dispositius com PDAs, PCs, etc.

El desenvolupament de l'aplicació està centrat la comunicació entre un receptor GPS i el processament que duu a terme un ordinador amb les dades rebudes.

2. ESTUDI DE VIABILITAT

2.1. Planificació

Aquest projecte final de carrera ha estat planificat per tal que la seva durada correspongui a un semestre. Així doncs, la planificació duta a terme està basada en aproximadament uns quatre mesos, des del 15 de febrer fins el 12 de juny, que correspon a l'inici de semestre i a la data límit de presentació de projectes.

S'ha de dir, que com tota planificació, aquesta ha patit canvis i modificacions al llarg del desenvolupament del projecte, pel fet que hi ha hagut tasques que s'havien planificat amb una durada, i finalment han acabat tenint una de superior. Això ha provocat un endarreriment de tasques de depenien de la primera.

2.1.1. Planificació prevista

El diagrama de Gantt de la **Figura 2.1** mostra la distribució de tasques en què es va dividir en un principi el projecte i sobre les quals es va realitzar una planificació temporal per a dur-les a terme.

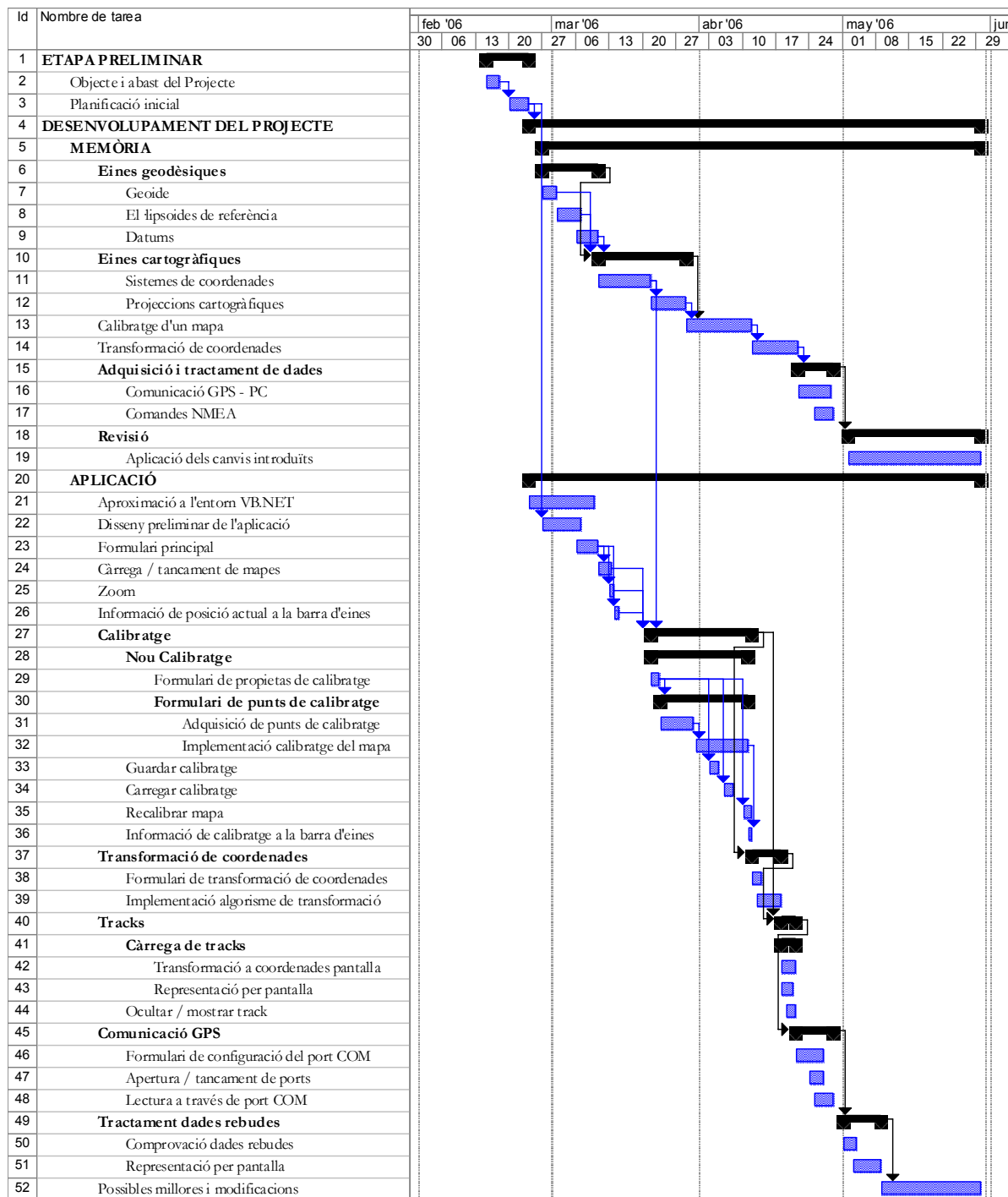


Figura 2.1. Planificació prevista del projecte.

2.1.2. Planificació real

La Figura 2.2 mostra el diagrama de Gantt de quin ha estat el desenvolupament real del projecte.

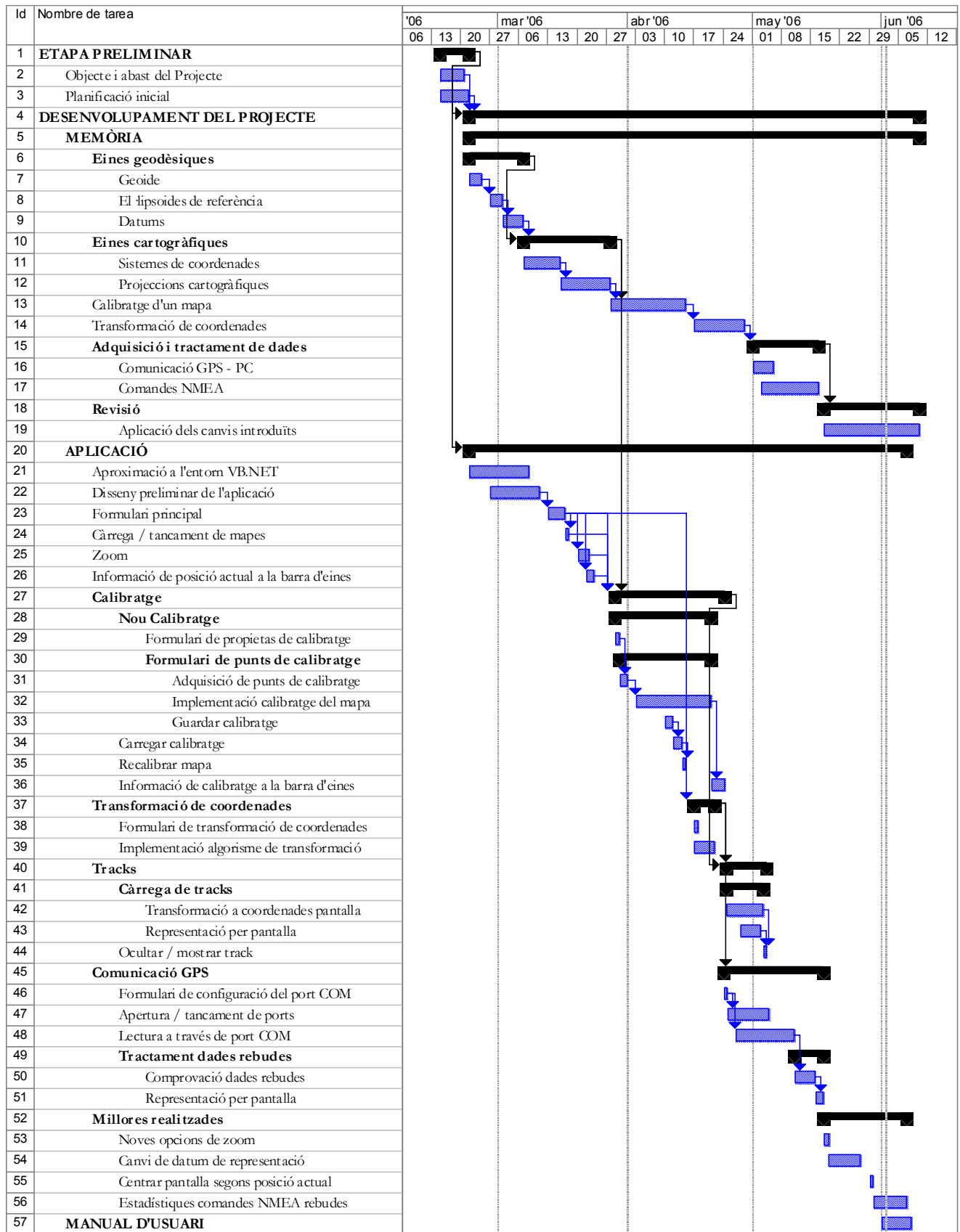


Figura 2.2. Planificació real del projecte.

Es pot comprovar que hi ha diferències substancials respecte la planificació prevista, degudes sobretot a una planificació excessivament optimista pel que fa a la distribució de tasques durant el projecte. La raó de la inversió de més temps del desitjat en algunes tasques ha estat la compaginació amb d'altres activitats acadèmiques, com són pràctiques d'assignatures i crèdits lliures, que han interferit en la planificació prevista.

Per altra banda, també hi ha hagut tasques que han tingut uns requeriments de temps superiors als que s'havia previst en un principi ja siguin causats per la metodologia o per la insuficient inversió d'hores de treball durant el període de temps assignat a elles, i per tant, ha suposat un endarreriment en les tasques que depenien d'elles.

Finalment, hi ha hagut un seguit de tasques afegides, com és la creació del manual d'usuari o les tasques addicionals, que han sorgit a mesura que el projecte anava avançant, i que s'han afegit al final del desenvolupament del mateix.

2.2 Eines emprades

L'aplicació a desenvolupar és, en essència, un software de tractament de dades. Com a tal, la funcionalitat que haurà d'implementar és:

- Càrrega de fitxers d'imatges.
- Lectura / escriptura de fitxers de text.
- Capacitat per a tractar events de teclat i ratolí.
- Interacció amb l'usuari per a adquisició de dades.
- Capacitat gràfica per a representar la ubicació actual sobre la imatge.

En conseqüència, es disposa de múltiples eines comercials de programació que ofereixen solució a la problemàtica que suposa la implementació de l'aplicació del projecte. Valgui com a exemple enumerar alguna d'elles com poden ser Visual C, Visual Basic, entre d'altres.

Donat que l'aplicació no conté cap element clarament diferenciador a favor de cap de les eines abans esmentades, la que finalment s'ha triat per a la realització del projecte ha estat Visual Basic.NET 2005.

El motiu fonamental per què Visual Basic i no Visual C++ amb llibreries gràfiques és per l'entorn més amigable de treball que ofereix VB.NET i la manera tan ràpida que permet desenvolupar una interfície software.

En versions anteriors, la diferència de rendiment entre Visual C i Visual Basic era molt a favor del primer, sobretot a l'hora de treballar amb llibreries gràfiques. La plataforma .NET ha integrat de fons totes les classes i en conseqüència, Visual Basic.NET esdevé una eina que combina una fàcil utilització amb una potència gràfica similar a la que ofereix Visual C.

D'aquesta manera, aplicacions com la duta a terme en aquest projecte, que tenen un elevat contingut d'operacions amb gràfics, esdevenen factibles de ser desenvolupades amb Visual Basic.NET.

3. ENTORN D'APLICACIÓ

3.1. Introducció

La terra, tot i aproximar-se molt a una superfície esfèrica no acaba de ser-ho completament. Més aviat es pot considerar com un el·lipsoide aixafat pels dos pols, afectat per les irregularitats de la superfície terrestre.

Aquesta característica, entre d'altres, fa que la seva representació sobre una superfície plana (o mapejat) no sigui un tema trivial, i hi hagi darrere molts estudis per a aproximar al màxim la forma real de la terra, a models matemàtics que ens serveixin de base per al sistema de navegació global (GPS).

Aquest capítol tracta d'aclarir els conceptes que s'han de tenir presents a l'hora de realitzar la representació d'una superfície esfèrica sobre una de plana. Es tracta doncs, d'un estudi dels aspectes que serveixen per entendre millor el mapejat i un cop assolits, poder realitzar un procés de calibratge d'un mapa, amb les garanties suficients de poder assegurar que la representació del posicionament que s'obté és la correcta.

En essència es pot parlar de dues ciències sobre les quals es basa el posicionament i la representació de les regions a mapejar: la geodèsia i la cartografia.

3.2. Geodèsia

La visió més clàssica de la *Geodèsia* es defineix com la ciència que s'encarrega de l'estudi de la forma i de la mida de la terra, des d'un punt de vista geomètric. Per tant, és la ciència que va a la cerca d'una aproximació a les característiques geomètriques esfèriques de la terra.

Aquesta definició potser no s'ajusta al que actualment es concep com a Geodèsia, una ciència que abraça molts camps, i de la qual es poden veure els trets principals a continuació:

- Establir i mantenir una xarxa global geodèsica de tres dimensions.
- Mesurar i analitzar el fenomen geodinàmic (com pot ser la rotació, els moviments de plaques, etc).
- Determinar el camp de gravetat de la terra (necessari per a definir alçades a partir d'una superfície equipotencial).

Els següents apartats mostren quines són les eines que aporta la Geodèsia a l'hora de realitzar un mapejat.

3.2.1. Geoide

Com el seu nom indica, el *geoide* (del grec, amb forma de la terra) és una possible representació de la superfície de la terra en la qual, es defineix una superfície equipotencial, és a dir, on la gravetat és perpendicular en tots els punts.

La forma que pren aquest geoide està definida per la massa de la terra (en els continents el geoide ascendeix, i a la superfície marina descendeix per la diferència de densitat de la composició de la terra i l'aigua), i per l'aixafament produït per la rotació terrestre.

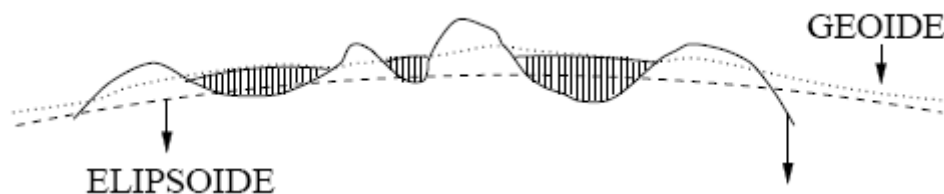


Figura 3.1. Comparació de geoide amb el lípsoide de referència.

3.2.2. El lipsoide de referència

Per tal de representar el geoide en un mapa, és necessari trobar una superfície geomètrica regular que serveixi com a referència i permeti realitzar aquesta representació d'una manera més simple, que no pas treballant directament sobre el geoide.

És el que es coneix com a *el lipsoide de referència*, i ofereix una aproximació el més acurada possible a les propietats del geoide. Aquest el lipsoide normalment fa referència a una regió del planeta determinada.

Val a dir que aquests el lipsoïdes són completament arbitraris, i fins el 1909 cada país n'utilitzava un de propi (o fins i tot més d'un, depenent de la geografia del país), de manera que l'el lipsoide s'adaptava a les necessitats pròpies.

A partir del 1950 hi va haver una posta en ferm d'unificar criteris, sobretot perquè era molt convenient per a assumptes de navegació, aviació i comerç a nivell mundial.

D'aleshores ençà, s'han anat definint tot un seguit d'el lipsoïdes, que intenten aconseguir una major aproximació matemàtica al geoide, o que com a mínim, les variacions respecte d'aquest siguin el més petites possibles.

També és cert, que cadascun dels el lipsoïdes existents s'utilitza en una regió determinada de la terra, i el motiu és, precisament, intentar que l'el lipsoide de referència i el geoide s'assemblin el màxim possible. És per aquest motiu que, tot i que existeix un el lipsoide de referència global, cada regió té definits un, o més d'un, de locals.

Els el lipsoïdes de referència es defineixen matemàticament per dos paràmetres:

- radi o semieix major (a) i menor (b)
- aixafament de l'el lipsoide (*flattering*) $f = 1 - \frac{b}{a}$

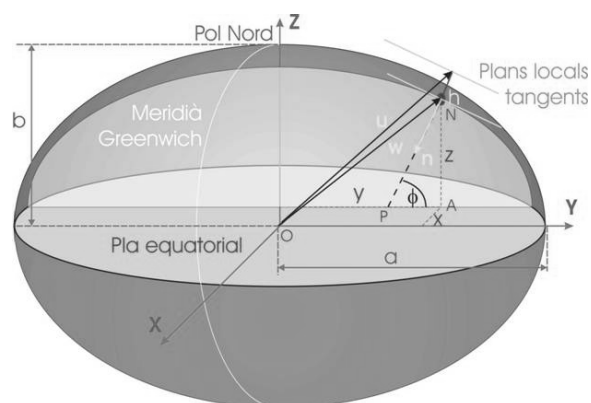


Figura 3.2. Paràmetres dels el·lipsoïdes de referència.

A l'**Annex A1** es poden consultar els el·lipsoïdes utilitzats actualment, amb els paràmetres que els defineixen.

3.2.3. Datum

Un terme molt relacionat amb l'el·lipsoide de referència, és el que es coneix com a *datum*. Es pot definir com el punt de tangència entre el geoide i l'el·lipsoide, on ambdós coincideixen.

El datum està definit per:

- un el·lipsoide de referència (amb els seus radis i aixafament)
- un *punt*, anomenat *fonamental* on l'el·lipsoide i la terra són tangents.

Aquest punt fonamental és a partir del qual es realitzen les mesures, ja que representa prou bé el geoide al voltant seu, però a mesura que s'augmenta la distància respecte ell, aquesta aproximació és més probable que no resulti tan fidel. Per tant, es pot considerar que es treballa en un sistema geodèsic local (veure **Apartat 3.3.1**).

De la mateixa manera que amb els el·lipsoïdes, a l'**Annex A2** es pot trobar una relació de tots els datums, amb les seves regions d'ús.

3.2.3.1. Datum global

Arran de la unificació de criteris a l'hora de definir el lipsoides de referència, una conseqüència va ser l'aparició d'un datum d'àmbit global, en contraposició amb el que s'ha mencionat fins ara, i que relacionava els datums amb sistemes locals.

L'exponent més clar d'aquests *datums globals* és el *World Geodetic System* (WGS - Sistema Geodèsic Mundial). La primera versió que es va aplicar d'aquest sistema és l'anomenat WGS-74, del qual es van modificar els paràmetres que el defineixen i va donar a l'actual versió, anomenada WGS-84.

La principal característica d'aquest datum és que s'utilitza el mateix el lipsoide per a representar qualsevol punt del planeta. En el cas del WGS-84, l'el lipsoide ve determinat pels següents paràmetres:

semi-eix major $a = 6378137$

$1 / \text{aixafament} = 298.257223563$

El WGS-84 utilitza coordenades geocèntriques (Veure **Apartat 3.3.1.2**), però a més té la peculiaritat que aquestes coordenades i les geodèsiques d'aquest el lipsoide coincideixen. D'aquesta manera és possible obtenir coordenades cartesianes a l'espai, respecte el centre de massa de la Terra o les coordenades geodèsiques.

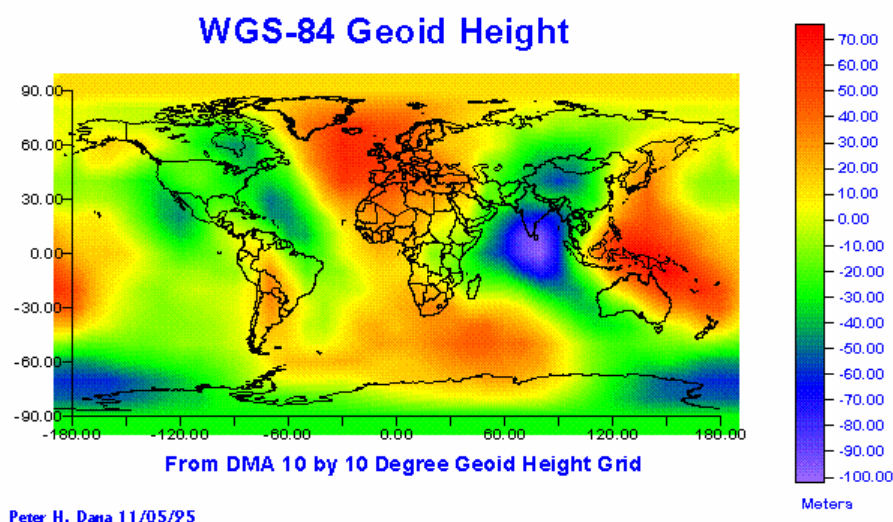


Figura 3.3. Alçades que pren el geoide respecte l'el lipsoide WGS-84.

A la **Figura 3.3** es mostren les alçades que pren el geoide respecte l'el·lipsoide de referència WGS-84. Es pot observar que les diferències que s'aprecien van des dels 100 metres per sota, a zones com la península Indoxina, fins als 70 metres per sobre a zones com l'Europa occidental.

Aquestes notables desviacions són provocades pel fet que estem considerant només un únic el·lipsoide, i haurà zones amb una aproximació millor que unes altres.

3.2.3.2. Datums a Catalunya

Datums i el·lipsoïdes de referència estan relacionats, per tant es pot parlar dels datums que s'utilitzen a Catalunya, i implícitament s'està parlant dels el·lipsoïdes de referència en els quals es basen.

Es poden anomenar bàsicament dos datums, que són els emprats en l'actualitat per a la representació de la zona de Catalunya, i que són:

- European Datum 1950
- World Geodetic System 84

El WGS-84 ja ha estat comentat en l'**Apartat 3.2.3.1**, i com és un datum de caràcter global, a continuació només es tractarà el European Datum 1950 (ED1950).

3.2.3.2.1. European Datum 1950

L'*European Datum 1950* (ED1950 ó ED50) està basat en l'el·lipsoide Internacional 1924, també anomenat de Hayford. Aquest el·lipsoide està definit per les següents característiques:

semi-eix major $a = 6378388$

1/ aixafament = 297

Com ja s'ha comentat, tot datum local té un punt fonamental. En el cas de l'ED1950 aquest punt es troba a la ciutat alemanya de Postdam, més concretament a la cúpula de l'observatori astronòmic d'aquesta ciutat.

D'aquest datum existeixen diferents variants, que prenen com a base el mateix el lipsoide. Aquestes petites variacions s'expliquen per la localitat dels datums: s'ajusten els paràmetres per a aproximar-se al màxim a la representació de la zona en què es treballa.

Així, sota el nom de ED50, hi ha diferents “versions” per a diferents països europeus, així com alguns de l'Orient Mitjà.

Per a més informació, consultar la llista completa de datums, a l'**Annex A2**.

3.3. Cartografia

Un cop s'han vist els conceptes relacionats amb la Geodèsia, cal veure ara quines eines aporta la Cartografia a l'hora de representar una zona de la terra en una superfície plana.

Es veuran què son i quins sistemes de coordenades de referència existeixen i quins són els més útils de cara a les aplicacions necessàries dins del projecte. Es tractaran les projeccions cartogràfiques que són més aconsellades per, ara sí, aconseguir una representació plana de la terra i que sigui útil per a realitzar un mapejat.

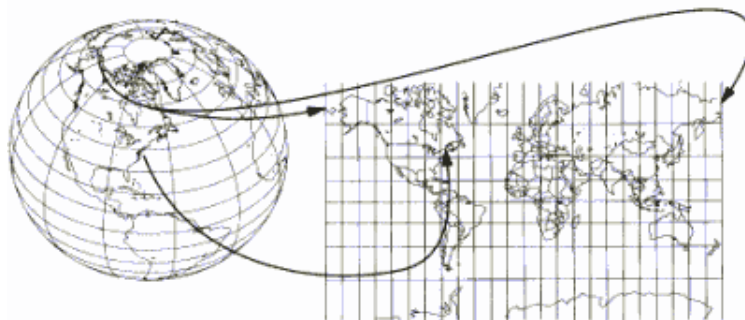


Figura 3.4. Translació de coordenades esfèriques a coordenades en un pla.

3.3.1. Sistemes de coordenades

Abans de veure els diferents tipus de sistemes de coordenades, cal definir què s'entén per un *sistema de coordenades*. És la manera de localitzar uns punts respecte d'uns altres, utilitzant conceptes de direcció i distància. És a dir, permet fixar la posició sobre la superfície terrestre i conèixer les posicions dels satèl·lits que formen la constel·lació GPS.

Existeixen molts tipus de sistemes de coordenades. Els que tenen una relació directa amb aquest projecte són:

- Coordenades Geogràfiques
- Coordenades Geodèsiques
- Coordenades Geocèntriques

Tots aquests sistemes es consideren sistemes de coordenades cartesianes, la qual cosa vol dir que els angles que formen els eixos són rectes (90°). Cada sistema de coordenades ha de permetre descriure una posició a la terra de manera numèrica i sense ambigüitats, assegurant que el cost de càlcul sigui raonable.

3.3.1.1. Coordenades geogràfiques

Les *coordenades geogràfiques* utilitzen la *latitud* i la *longitud* per a determinar la posició d'un punt sobre la superfície terrestre, tot basant-se en observacions astronòmiques: respecte el Pol Nord celest i la línia que uneix el punt a mesurar en direcció Nord.

Es defineix com a *latitud geogràfica* (λ) la distància que existeix des de l'equador fins un punt, expressada en graus. Es parla de latitud Nord, si la direcció és cap al Pol Nord, o de latitud Sud si la direcció és cap al Pol Sud. La distància de l'equador a un pol és de 90° i es treballa en el interval $[-90^\circ, 90^\circ]$.

La *longitud geogràfica* (Φ) per altra banda, és la distància que hi ha des d'un meridià preestablert (Greenwich), també expressada en graus. La longitud s'expressa en funció de la direcció del punt respecte si es troba a la dreta (longitud Oest) o a l'esquerra (longitud Est) d'aquest meridià, que representa els 0° . Degut a què un meridià sempre és un cercle màxim, la terra queda dividida en dos hemisferis de 180° , i és per aquest motiu que la longitud es mesura en aquest interval $[0^\circ, 180^\circ]$.

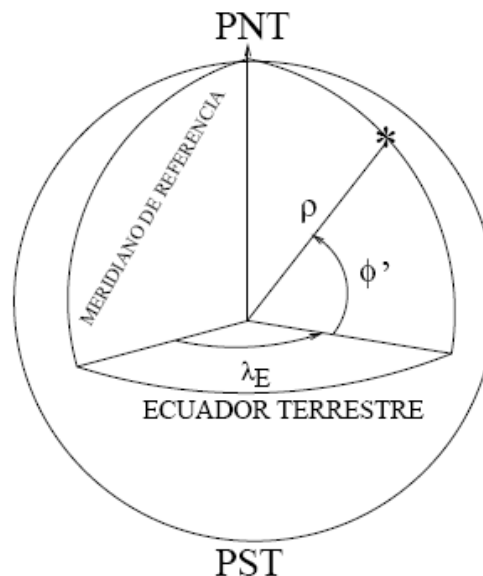


Figura 3.5. *Coordenades geogràfiques.*

S'ha de dir que aquest sistema de coordenades no inclou el concepte d'alçada i considera que tots els punts es poden situar sobre l'el·lipsoide de referència.

3.3.1.2. Coordenades geocèntriques

El sistema de *coordenades geocèntriques* té, com el seu nom indica, el centre de massa de la terra com a origen, i utilitza com a pla de referència l'equador terrestre. Ve determinat per tres components:

La *latitud geocèntrica* (Φ) és l'angle que hi ha entre una línia que passa pel punt i el centre del planeta, i per l'equador terrestre. Pot prendre valors en el rang $[-90^\circ, 90^\circ]$

La *longitud geocèntrica* (λ) coincideix amb la definició de longitud geogràfica, i es pren a partir del meridià de referència.

Per últim, la *distància radial* (ρ) d'un punt a la superfície de la terra, és la línia recta que existeix entre aquest punt i el centre de massa de la terra.

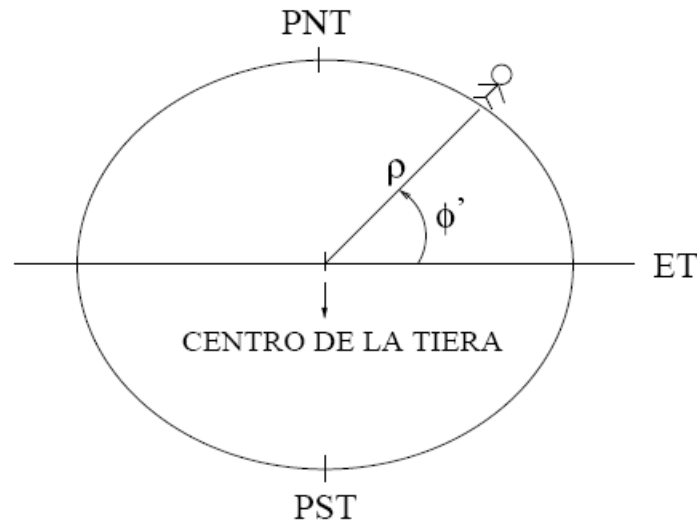


Figura 3.6. Latitud geocèntrica i distància radial.

3.3.1.3. Coordenades geodèsiques

Les *coordenades geodèsiques* són una ampliació de les coordenades geogràfiques, on ara també s'inclou l'alçada respecte l'el·lipsoide de referència.

El concepte d'alçada és important, ja que es poden produir certes variacions a l'hora de trobar la posició mitjançant GPS. Aquestes variacions seran més pronunciades a mesura que l'alçada de la posició a situar, augmenti respecte a la tangent amb l'el·lipsoide.

En el cas de coordenades geodèsiques, es parla de *longitud geodèsica* (λ), que coincideix amb la longitud geogràfica.

La *latitud geodèsica* (Φ), varia respecte la geogràfica, ja que en basar-se en l'el·lipsoide de referència i el punt de tangència a aquesta superfície, fa que no coincideixi amb la latitud geogràfica (només coincidirà en el cas que estem en algun dels dos pols). Els valors que pot prendre són $[-90^\circ, 90^\circ]$. S'ha de tenir en compte que els mapes i atles quan parlen de latitud, es refereixen a la latitud geodèsica.

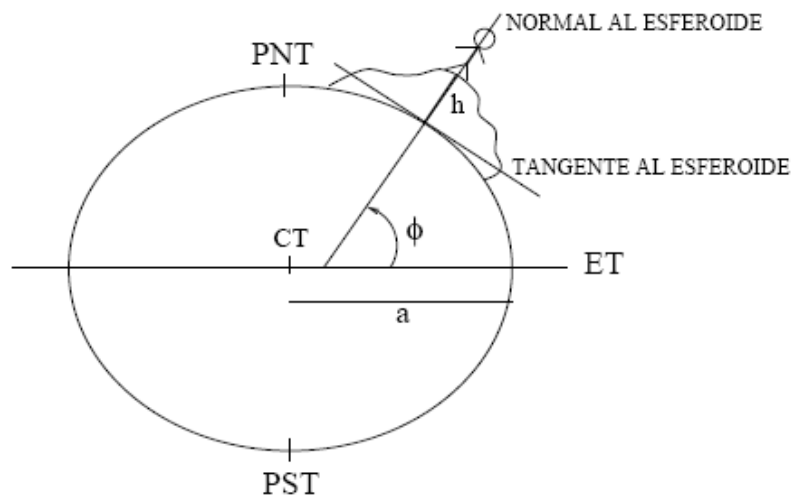


Figura 3.7. Latitud i alçada geodèsiques.

Per últim, l'*alçada geodèsica* (h) fa referència a l'alçada respecte l'el·lipsoide de referència fins el punt. Com s'ha comentat, la seva importància radica en què a mesura que augmenta la distància respecte de l'el·lipsoide de referència (per exemple, el pic d'una muntanya) l'aproximació obtinguda pot no ser del tot acurada si no es té en compte.

3.3.2. Projeccions cartogràfiques

La necessitat d'una projecció cartogràfica a l'hora de mapejar una zona ve donada pel fet que s'han de fer transformacions de mesures i posicions de l'el·lipsoide (superfície esfèrica) a una superfície plana.

S'ha de trobar una representació que provoqui el mínim de variacions possible i que permeti passar de tractar de superfícies esfèriques a superfícies planes, sempre tenint

present que no existeix cap representació que pugui representar d'una manera totalment fidel el desenvolupament pla d'una esfera.

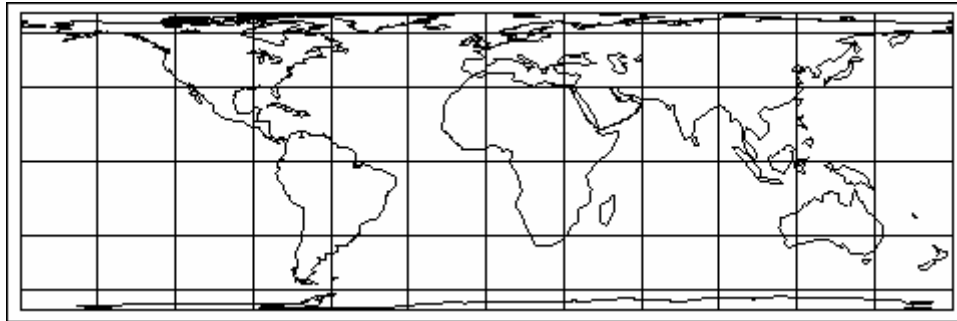


Figura 3.8. Projectió cònica de Lambert de la terra.

És per aquest motiu, que l'últim pas en tot aquest procés per aconseguir el mapejat d'una regió és, trobar una projectió que serveixi per a representar qualsevol punt, sempre d'acord amb un el lipsoide de referència (i per tant tenint en compte que té un datum associat), i sabent que només es pot conservar una de les següents magnituds físiques: la superfície, la distància o els angles respecte l'esfera original.

3.3.2.1. Projections planes

Quan la zona a representar és prou petita i es pot considerar que la forma esfèrica de la terra no ha d'influir en la representació cartogràfica, s'opta per la *projectió plana* en la qual, tots els punts que es representen es veuen des de la perpendicular.

La representació cartogràfica que obtenim s'anomena *plànol* i es considera que està dins d'un dels camps que avarca la Cartografia: la Topologia.

3.3.2.2. Projections geodèsiques

En contraposició amb les projections planes, les *projections geodèsiques* sí que es veuen afectades per la forma esfèrica a l'hora de representar les posicions geogràfiques, les àrees, distàncies i angles.

Dins de les projeccions geodèsiques es poden distingir tres tipus, depenent de la variable que es vol conservar, un cop s'hagi realitzat la projecció:

- *Projeccions conformes.* Són projeccions en les quals, els angles que formen dues línies en la superfície terrestre es conserven amb una relació de semblança de 1 al centre de la projecció, i una relació de $1+\epsilon$ als límits de la projecció. Aquest “error” ϵ és proporcional al quadrat de les distàncies que uneix el centre de la projecció amb el punt que es vol projectar. Un exemple de projecció ortogràfica és l'UTM (*Universal Transversal Mercator*), que es tractarà a l'**Apartat 3.3.3**.
- *Projeccions equivalents.* En aquest cas, la variable a conservar és la superfície, un cop realitzada la projecció. L'única manera de mantenir aquesta propietat és deformar els angles de les línies. És per aquest motiu que una projecció mai podrà ser conforme i equivalent alhora.
- *Projeccions afilàctiques.* És un tipus de projecció en què no es conserven ni angles ni distàncies. S'utilitzen sobretot per a representar zones polars, i un exemple són les UPS (*Universal Polar Stereographics*).

Així doncs, s'utilitzarà una projecció geodèsica conforme, en la qual es mantenen els angles, ja que en Cartografia interessa més mantenir la magnitud angular deixant de banda la superficial. És per aquest motiu que s'utilitza aquest tipus de projecció, i més concretament la projecció UTM.

3.3.2.3. Projeccions cilíndriques

S'ha fet referència a què no hi ha cap manera de representar una esfera en un pla, i és per aquest motiu que s'ha de recórrer al que es coneix com a *superfícies desenvolupables*.

Un tipus de superfície desenvolupable que s'utilitza és un cilindre, i la seva projecció consisteix, en el cas més simple, en col·locar un cilindre tangent a la terra per l'equador. Després només cal projectar els punts sobre el cilindre, desplegar-lo i així obtenir un pla.

Existeixen diferents tipus de projeccions cilíndriques, segons com es col·loqui el cilindre respecte de l'equador terrestre. A continuació s'anomenen els tipus:

- *Projeccions cilíndriques regulars*. El cilindre és tangent o secant a l'equador. Dins d'aquest tipus es troba la projecció Mercator.
- *Projeccions cilíndriques transverses*. Són les projeccions en què la col·locació del cilindre tangent ha estat girada 90° , i per tant que en comptes de ser tangent a l'equador, ho és respecte al meridià central. La projecció UTM (*Universal Transversal Mercator*) es classifica dins d'aquest tipus.
- *Projeccions cilíndriques obliqües*. En aquest cas el cilindre té una rotació de 45° respecte a la projecció regular.

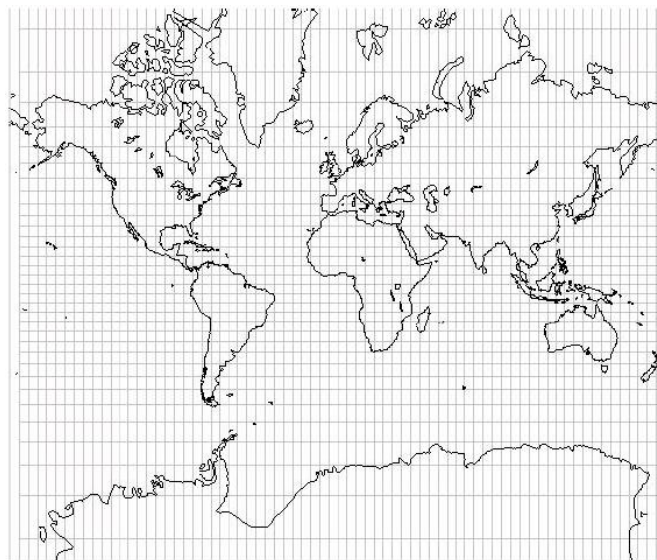


Figura 3.9. Projecció cilíndrica Mercator.

3.3.2.4. Projeccions còniques

Les projeccions còniques també són desenvolupables, però en aquest cas, la figura que s'utilitza, és el con. Són utilitzades en zones de la terra allunyades de l'equador, ja que es pren com a referència un paral·lel situat a una latitud mitjana, en comptes de l'equador.



Figura 3.10. Projecció cònica equiàrea d'Albers.

3.3.3. La projecció UTM

La *Projecció Mercator Transversal Universal* (UTM), és un tipus de projecció conforme que utilitza com a superfície desenvolupable un cilindre. És la projecció més emprada en l'actualitat per la seva importància militar, però sobretot pel fet que el servei de Defensa nord-americà (DoD) el va adoptar com a estàndard a la dècada dels quaranta.

El sistema de projecció UTM pren com a base la projecció Mercator, la qual pren un cilindre situat de forma tangent a l'el·lipsoide per l'equador per a realitzar la projecció.

D'aquesta manera, amb la projecció Mercator, la xarxa obtinguda té la propietat que tant meridians com paral·lels formen una quadrícula obliqua, coneguda com a reixeta o *grid*, de manera que una recta obliqua situada entre dos paral·lels forma sempre un angle constant amb els meridians.

A la **Figura 3.11** es pot observar quin és el desenvolupament pla de la projecció Mercator, un cop fet el desplegament.

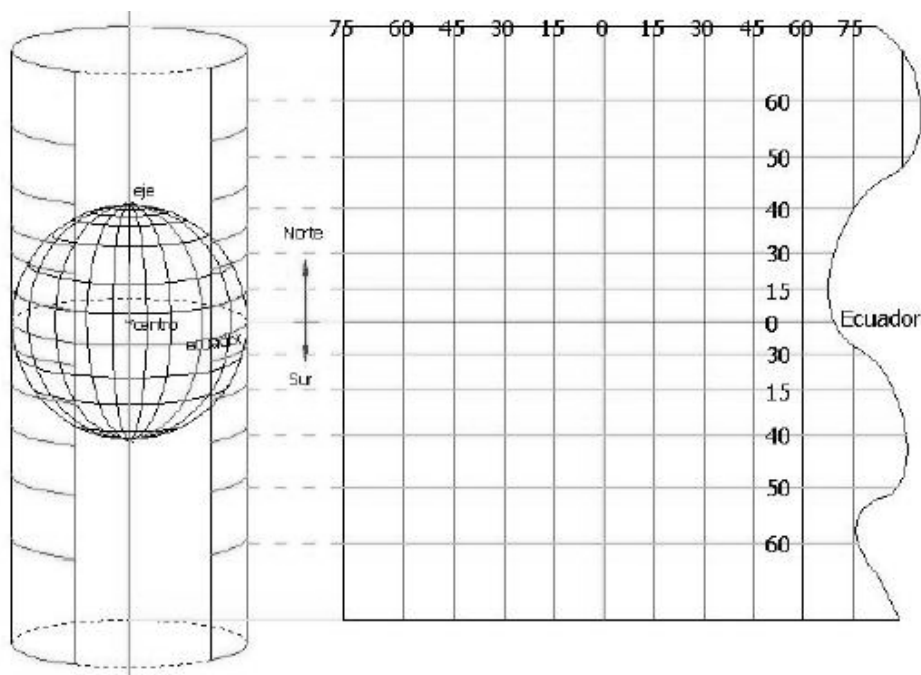


Figura 3.11. Desenvolupament de la projecció Mercator.

Per la seva banda, a la projecció Transversal Mercator Universal (UTM), el cilindre de projecció és transversal respecte a l'eix de rotació de la terra. De totes maneres, conserva la propietat de constància d'angles entre dos meridians.

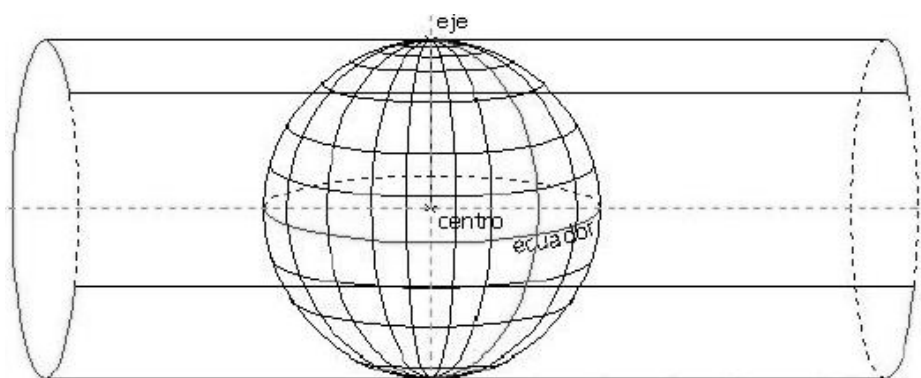


Figura 3.12. Posició del cilindre de projecció.

La **Figura 3.12** mostra com la posició del cilindre de projecció respecte l'eix de rotació de la terra és transversal.

3.3.3.1. Característiques de la projecció UTM

Quan es parla de *fus* o *zona UTM*, es fa referència a les posicions geogràfiques que es troben entre dos meridians. La projecció UTM fa servir fusos de 6° de longitud i d'aquesta manera es crea una relació entre les coordenades geodèsiques angulars tradicionals (latitud i longitud) mesurades en graus i les coordenades planes UTM expressades en metres. És per aquest motiu que existeixen fórmules de conversió entre aquests dos sistemes de coordenades.

Aquests fusos són generats a partir d'un punt arbitrari però que s'ha acordat que sigui el meridià de Greenwich, que es considera longitud 0°.

Val a dir que la línia central d'un fus UTM sempre coincideix amb un meridià del sistema geodèsic, anomenat *meridià central*. Aquest meridià, defineix l'origen de la zona UTM i equidista 3° de longitud respecte els extrems de cada fus.

Així doncs, segons la projecció UTM, la terra es troba dividida en 60 fusos de 6° cada un. Cadascun d'aquests fusos, a la vegada, està dividit en 20 *bandes*, amb nomenclatura des de la C fins la X, amb la següent distribució:

- Les bandes C fins la M corresponen a l'hemisferi sud.
- Les bandes N fins la X corresponen a l'hemisferi nord.

D'aquesta manera queda definida la graella mitjançant la projecció UTM, representada a la **Figura 3.13**.

L'origen de les coordenades UTM es troba a la intersecció del meridià central (Greenwich) amb l'equador. Pren un valor relatiu 0 km N i 500 km E per l'hemisferi nord i 10.000 km N i 500km E per l'hemisferi sud (veure **Figura 3.14**).

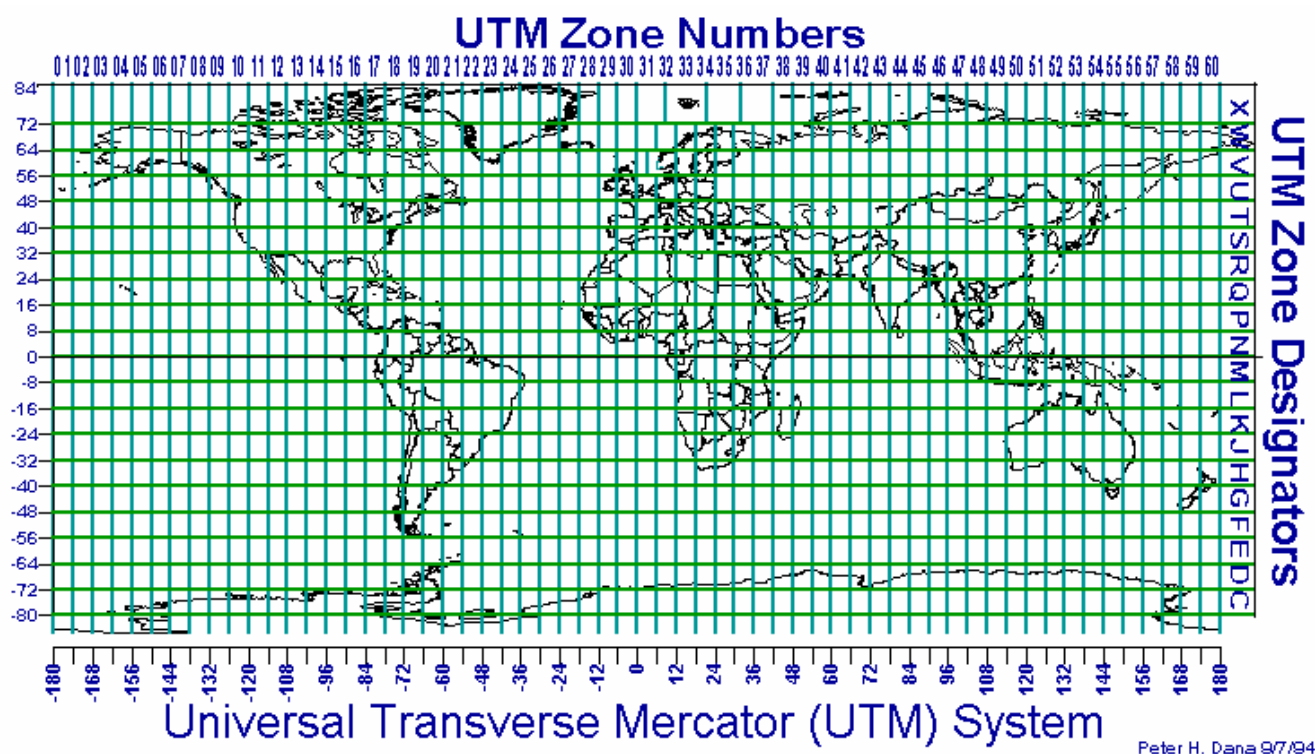


Figura 3.13. Fusos i bandes de la projecció UTM.

Aquestes variacions respecte a l'origen verdader es coneixen com a *falsos orígens*, i prenen aquests valors per així evitar l'ús i aparició de números negatius.

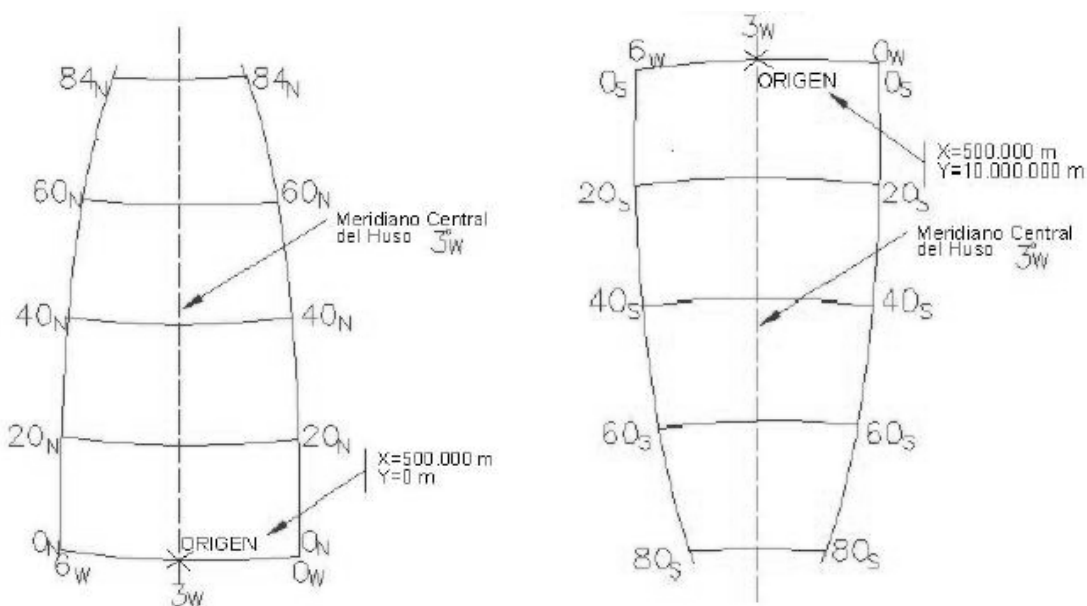


Figura 3.14. Origen UTM al meridià de Greenwich (hemisferis Nord -esquerra- i Sud -dreta).

La limitació de les zones UTM Nord-Sud està compresa entre la latitud 84°N i latitud 80°S. Això és degut a què a partir d'aquestes latituds, les deformacions són considerables, i no s'aconsegueix una projecció prou precisa.

Per aquest motiu, les zones que queden sense cobrir per la projecció UTM, es troben representades mitjançant un altre tipus de projecció: les UPS (*Universal Polar Stereographic*), i corresponen a les dues zones polars de la terra.

S'ha de remarcar que en un fus UTM l'única línia del grid que coincideix amb els meridians de les coordenades angulars és només el meridià central d'aquesta zona. En la resta, no coincideixen i les diferències creixen a mesura que ens apropem als extrems i ens allunyem d'aquest meridià central. Aquesta diferència o desviació s'anomena *convergència de la quadrícula*.

Si es considera l'orientació Est-Oest, succeeix quelcom semblant al que passa amb els meridians. L'única línia UTM que coincideix amb una línia de latitud és la corresponent a l'equador. La resta de les línies del grid del fus UTM es corben cap a baix a mesura que ens dirigim al nord i la distància respecte el meridià central creix, i no coincideixen amb les línies dels paral·lels.

El motiu pel qual succeeix és perquè les línies de latitud són paral·leles a l'equador en una superfície corba, mentre que les línies horitzontals UTM són paral·leles a l'equador en una superfície plana.

3.3.3.2. Coordenades UTM

Una zona UTM sempre comprèn una regió amb una distància horitzontal, anomenada *Easting*, inferior a 1.000.000 m. En realitat, l'amplada màxima d'una zona UTM és d'uns 668 km i correspon a l'equador.

Per a cada hemisferi una zona UTM també està definida verticalment amb l'anomenat *Northing*, amb un valor inferior a 10.000.000 de metres. Aquest valor és màxim a la latitud 84°N i representa uns 9.329 km.

Així doncs, normalment s'utilitza un valor d'Easting de no més de 6 dígits, i un de Northing de no més de 7. Més endavant es comprovarà quin és el motiu.

A banda d'aquests dos paràmetres, les coordenades UTM es troben definides per:

- *Zona UTM*. Numerades de la 1 a la 60.
- *Banda o Hemisferi*. Depenent de si es treballa amb les bandes o els hemisferis.
- *Northing*. Distància en metres respecte l'equador, direcció S → N.
- *Easting*. Distància en metres respecte el meridià d'origen, direcció O → E.
- *Datum de referència*. Segons el datum utilitzat les coordenades UTM d'un mateix punt variaran. (Veure **Apartat 4.4**)

Una consideració que s'ha de tenir present és que una coordenada UTM no correspon a un punt discret sinó a una superfície quadrada. El costat d'aquesta àrea depèn de la precisió de la coordenada amb què es treballa. Això implica que, qualsevol punt contingut en aquesta superfície (amb la precisió escollida) tindrà el mateix valor de coordenada UTM.

Com a més dígits s'utilitzen, més augmenta la precisió, és a dir, es defineixen quadrats de costat més petit. En el cas dels GPS l'àrea amb què treballen correspon al metre quadrat, ja que s'utilitzen set dígits per al valor del Northing i sis dígits per l'Easting.

A la **Taula 3.1** es pot veure com afecta l'ús de més dígits a l'hora d'obtenir una major precisió.

COORDENADES UTM	ZONA	BANDA	EASTING	NORTHING	PRECISIÓ
30 S 3546784891567	30	S	354678	4891567	1 m
30 S 35467489156	30	S	354670	4891560	10 m
30 S 354648915	30	S	354600	4891500	100 m
30 S 3544891	30	S	354000	4891000	1.000 m
30 S 35489	30	S	350000	4890000	10.000 m
30 S 348	30	S	300000	4800000	100.000 m

Taula 3.1. Precisió de les coordenades UTM segons el nombre de dígits.

Per a distingir quins dígit corresponen a l'Easting i quins al Northing, com a norma s'estableix que sempre s'utilitza un dígit més pel Northing que per a l'Easting. D'aquesta manera no existeix ambigüitat per a saber comença un i acaba l'altre.

S'ha de dir que no hi ha límit a l'hora de definir la precisió d'una zona UTM, i que si es vol es poden utilitzar quadrats de costat de centímetre o mil·límetre, i si no és fa és perquè per al funcionament del GPS, amb una precisió de metre, és suficient.

Per a aprofundir més sobre coordenades UTM, a l'**Annex A3** es pot trobar alguna consideració addicional que s'ha de tenir en compte quan s'utilitzen aquestes coordenades.

4. CALIBRATGE I TRANSFORMACIÓ DE COORDENADES

4.1. Introducció

En el capítol anterior s'han descrit un seguit de conceptes que ajuden a entendre els passos que s'han de seguir a l'hora de fer un mapejat. Ara es tracta de veure quines són les dades necessàries per a calibrar un mapa correctament, i una possible solució al procés de calibratge, que correspon a la implementada en l'aplicació del projecte.

En la darrera part del capítol es farà un estudi dels mètodes que existeixen per a dur a terme transformacions de coordenades, per a poder treballar amb diferents datums, segons ens convingui. Per últim, es comprovarà la importància del datum amb què es treballa.

4.2. Calibratge d'un mapa

En tot procés de calibratge que es realitza mitjançant una aplicació software, es necessiten un seguit d'elements i dades. Aquests són:

- Un *mapa* digitalitzat de la regió a calibrar.
- El *datum* amb què s'introduiran les dades.
- El tipus de *projecció del mapa*, normalment la projecció UTM.
- Un cert nombre punts del mapa a calibrar, dels quals es coneguin o bé les seves coordenades geogràfiques (latitud, longitud) o bé les coordenades UTM.

És evident, que com a més punts, un calibratge més precís es durà a terme. Però és interessant el fet que amb només tres punts ja es pugui realitzar un calibratge amb una bona precisió. Sovint, però, el mapa a calibrar s'ha obtingut mitjançant una còpia d'un original, la qual cosa provoca distorsions en la imatge digitalitzada. El fet de calibrar només amb tres punts pot donar errors substancials de la visualització del posicionament.

Per això és important aplicar un algorisme de calibratge de més de tres punts que calculi les coordenades interiors del mapa amb més precisió i no només es basi en el contorn de la imatge proporcionada.

	ZONA UTM	HEMISFERI	EASTING	NORTHING	UBICACIÓ
Punt 1	31	N	416429	4613836	Pàrking Coll d'Estenalles
Punt 2	31	N	417250	4614363	Cim del pic Montcau
Punt 3	31	N	418343	4610619	La Mola

Taula 4.1. Dades de les coordenades UTM per dur a terme el calibratge.

És recomanable sempre treballar amb coordenades UTM, ja que assegura una precisió major que fer-ho amb coordenades geogràfiques, sempre i quan es treballi amb una precisió prou elevada.



Figura 4.1. Quadre de diàleg amb les opcions de calibratge d'OziExplorer.

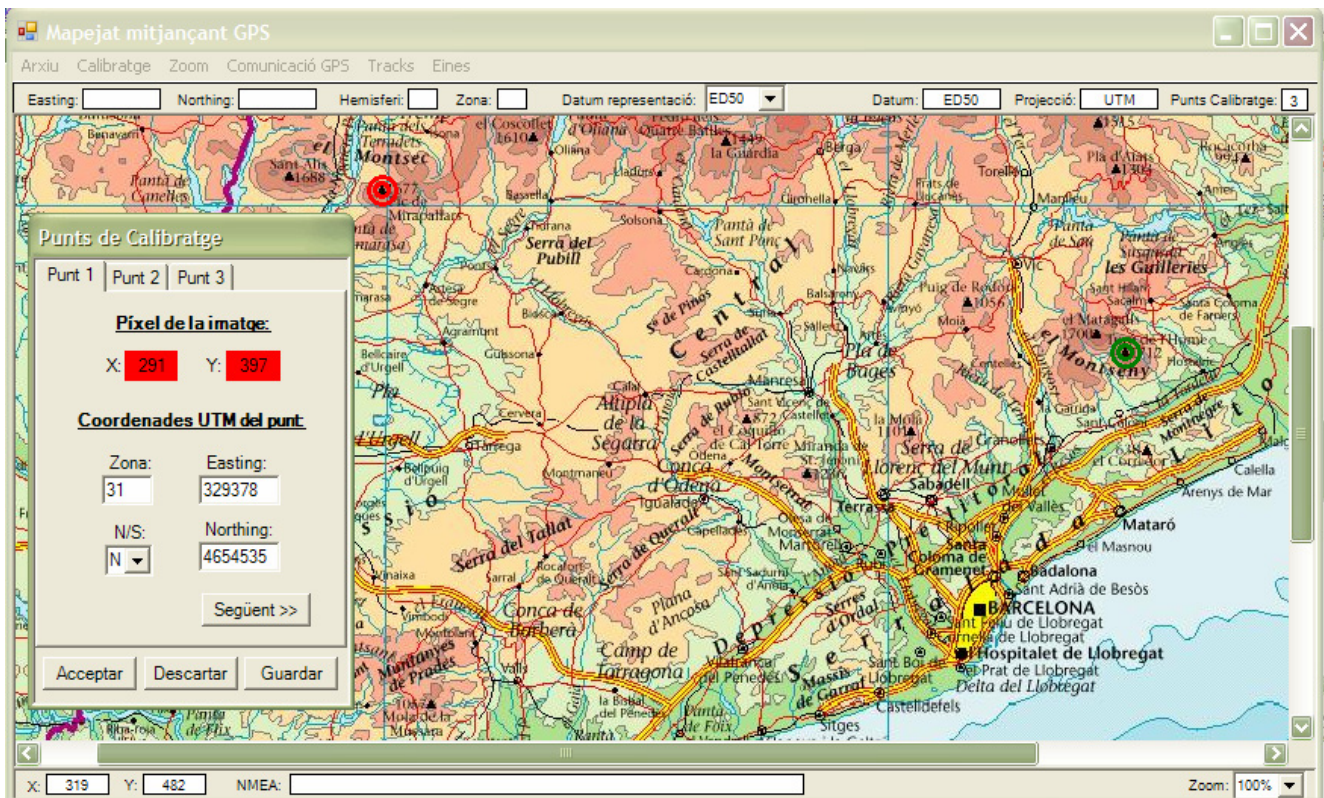


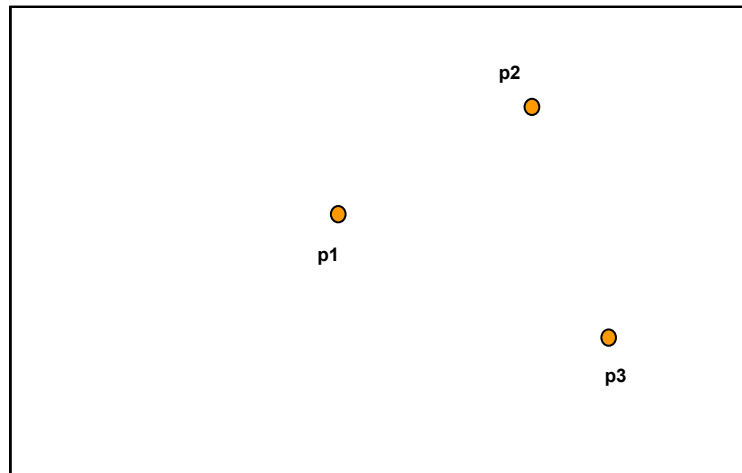
Figura 4.2. Dos dels punts de calibratge i propietats del primer d'ells.

4.2.1. Calibratge mitjançant l'aplicació del projecte

A continuació s'explica una de les possibles solucions a l'hora d'implementar el calibratge d'un mapa en una aplicació. Per raons de simplicitat, ja que d'altra manera els càlculs resulten força més complexos, s'ha pres com a nombre de punts de calibratge un número fix i inamovible.

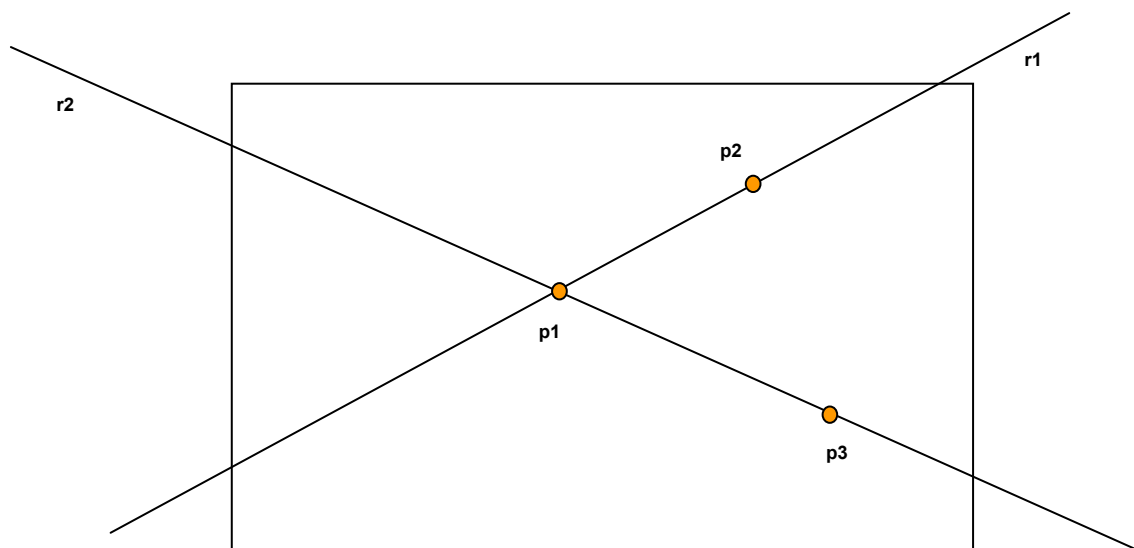
Com els resultats obtinguts amb tres punts de calibratge són més que satisfactoris per a la majoria de casos, aquest és el nombre de punts triats per a l'aplicació del projecte.

Tot seguit s'explica amb detall quins són els càlculs matemàtics que hi ha darrere del procés de calibratge escollit.



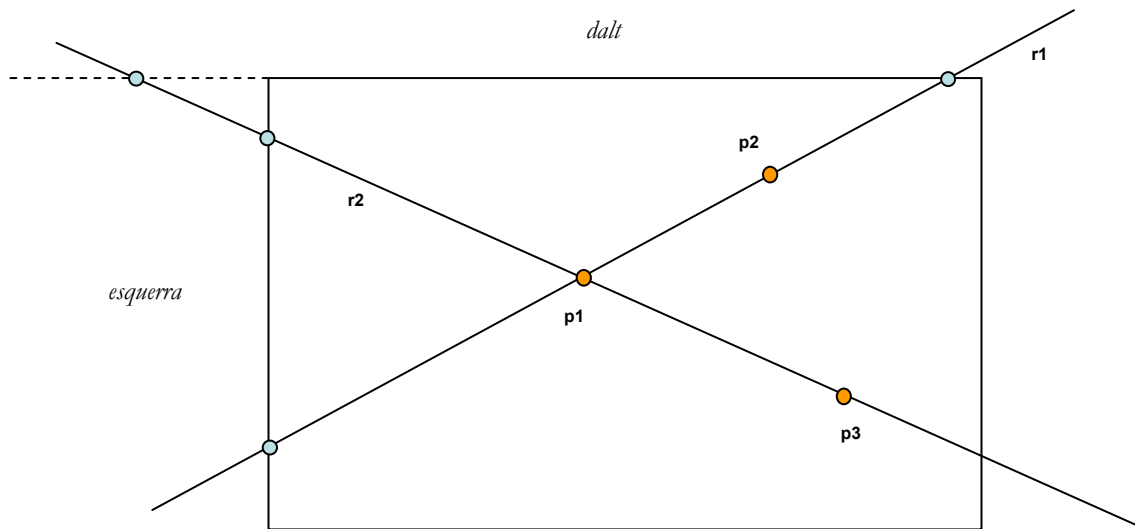
Pas 1.- Un cop definits els tres punts $(p1, p2, p3)$ sobre el mapa, i es coneixen tant les seves coordenades pantalla (x,y) com les UTM (hemisferi, zona, Northing, Easting), es tracen les rectes que es defineixen i que passen per aquests punts, dos a dos. S'ha d'assegurar que els punts no defineixen dues rectes paral·leles, sinó el mètode no es pot aplicar.

A la següent figura es mostra com queden definides les rectes:



Cal remarcar que les coordenades pantalla tenen el seu origen $(0,0)$ a la part superior esquerra de la imatge.

Pas 2.- Aquestes dos rectes han definit vuit punts de tall amb els límits de la imatge que forma el mapa, dos amb cada costat. Per a l'aproximació duta a terme, només hem de tenir en compte els punts de tall dels costats de dalt i de l'esquerra:



Tot seguit es mostra el procés que s'aplica a la part superior del mapa, però les fórmules per a la part esquerra són equivalents, i només varien els valors corresponents als punts amb què es treballa.

Pas 3.- Es volen aconseguir els paràmetres A , B i C que defineixen les dos rectes que passen pels punts $(p3, p1)$ i $(p1, p2)$, respectivament. L'equació de la recta és:

$$Ax + By + C = 0 \quad (1)$$

I els paràmetres A , B i C per a cada cas són:

Pas 3.1.- Recta que passa per $(p3, p1)$:

$$A = y_{p1} - y_{p3}$$

$$B = -x_{p1} + x_{p3}$$

$$C = (x_{p1} - x_{p3}) * y_{p3} - (y_{p1} - y_{p3}) * x_{p3}$$

Pas 3.2.- Recta que passa per $(p1, p2)$:

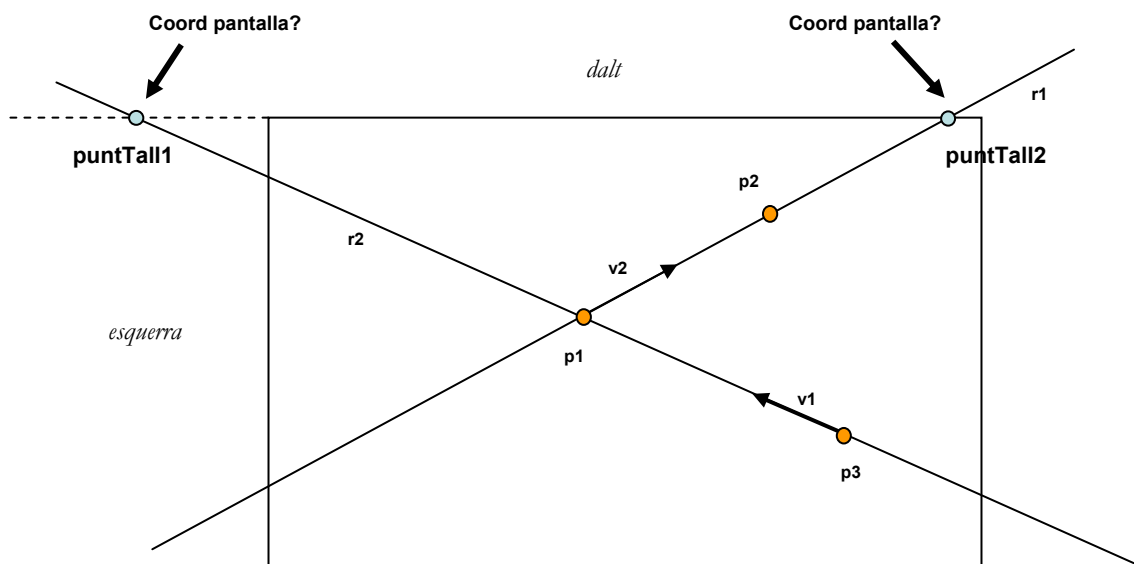
$$A = y_{p2} - y_{p1}$$

$$B = -x_{p2} + x_{p1}$$

$$C = (x_{p2} - x_{p1}) * y_{p1} - (y_{p2} - y_{p1}) * x_{p1}$$

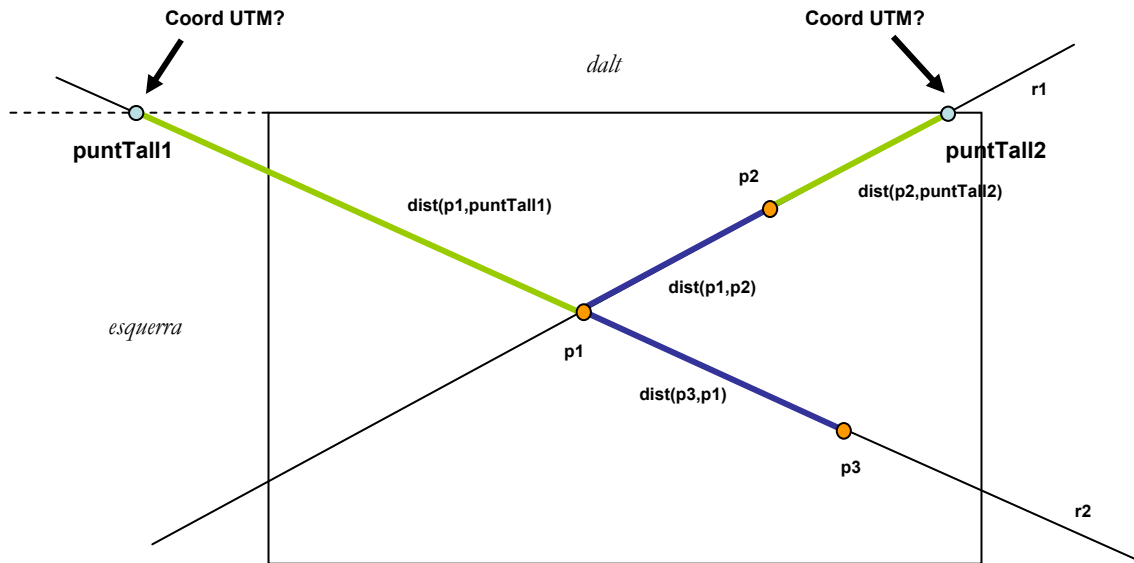
Pas 4.- De (1) es poden aïllar els valors de x i de y , de manera que com la resta de valors són coneguts, es pot calcular el valor en coordenades pantalla, dels punts de tall amb la part superior de la imatge:

$$x = \frac{-C - By}{A} \text{ i } y = \frac{-C - Ax}{B}$$



En el cas de la part superior de la pantalla, la coordenada pantalla y serà 0, per tant, trobem el valor de x . D'aquesta manera, s'han obtingut dos punts de tall: *puntTall1* i *puntTall2*.

Pas 5.- A continuació s'ha de trobar a quina coordenada UTM correspon cada punt de tall, per què un cop conegudes, es pugui trobar la coordenada UTM a l'origen de coordenades pantalla.



El primer que s'ha de fer és calcular la distància euclidiana entre els dos punts originals, i després la distància entre el punt més proper al punt de tall i aquest.

$$d(a,b) = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (2)$$

S'aplica (2) per a calcular la distància dins d'una mateixa recta, per als tres punts que hi ha definits en ella:

Pas 5.1.- Distàncies entre $(p3,p1)$ i $(p1,puntTall1)$:

$$d1 = d(p3, p1) = \sqrt{(x_{p1} - x_{p3})^2 + (y_{p1} - y_{p3})^2}$$

$$d2 = d(p1, puntTall1) = \sqrt{(x_{puntTall1} - x_{p1})^2 + (y_{puntTall1} - y_{p1})^2}$$

Pas 5.2.- Distàncies entre $(p1,p2)$ i $(p2,puntTall2)$:

$$d1 = d(p1, p2) = \sqrt{(x_{p2} - x_{p1})^2 + (y_{p2} - y_{p1})^2}$$

$$d2 = d(p2, puntTall2) = \sqrt{(x_{puntTall2} - x_{p2})^2 + (y_{puntTall2} - y_{p2})^2}$$

Ara, i considerant que es treballa en la mateixa zona UTM, es pot calcular mitjançant una regla de tres simple, quina és la coordenada UTM que correspon a cada punt de tall, tot basant-se en les proporcions entre les distàncies obtingudes i els valors de les coordenades UTM que ja coneguts.

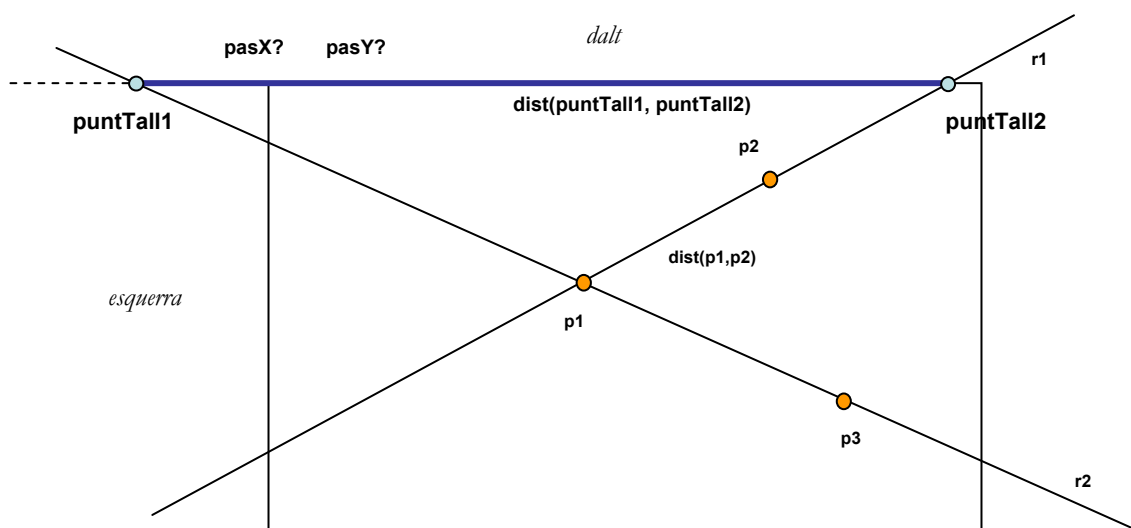
A continuació es mostra el procés per a *puntTall1*. És exactament el mateix per a *puntTall2*, només variant els subíndexs.

$$\begin{array}{l|l} \text{Si } d1 \rightarrow AN & \text{Si } d1 \rightarrow AE \\ d2 \rightarrow AN' & d2 \rightarrow AE' \end{array}$$

$$AN' = N_{puntTall1} - N_{p1} = \frac{AN * d2}{d1} \Rightarrow N_{puntTall1} = \frac{AN * d2}{d1} + N_{p1}$$

$$AE' = E_{puntTall1} - E_{p1} = \frac{AE * d2}{d1} \Rightarrow E_{puntTall1} = \frac{AE * d2}{d1} + E_{p1}$$

Pas 6.- Un cop trobades les coordenades UTM dels dos punts de tall, és necessari saber quina variació de Northing i d'Easting es produeix per cada variació d'un píxel en coordenades pantalla, tot recordant que es considera sempre la mateixa zona UTM.



Per això, i utilitzant les coordenades dels punts que trobats al **Pas 5**, es torna a aplicar una regla de tres simple, entre aquests dos punts de tall i les seves variacions de coordenades

UTM respecte coordenades pantalla. És el que hem anomenat “pas”, tant per la coordenada x , com per a la coordenada y .

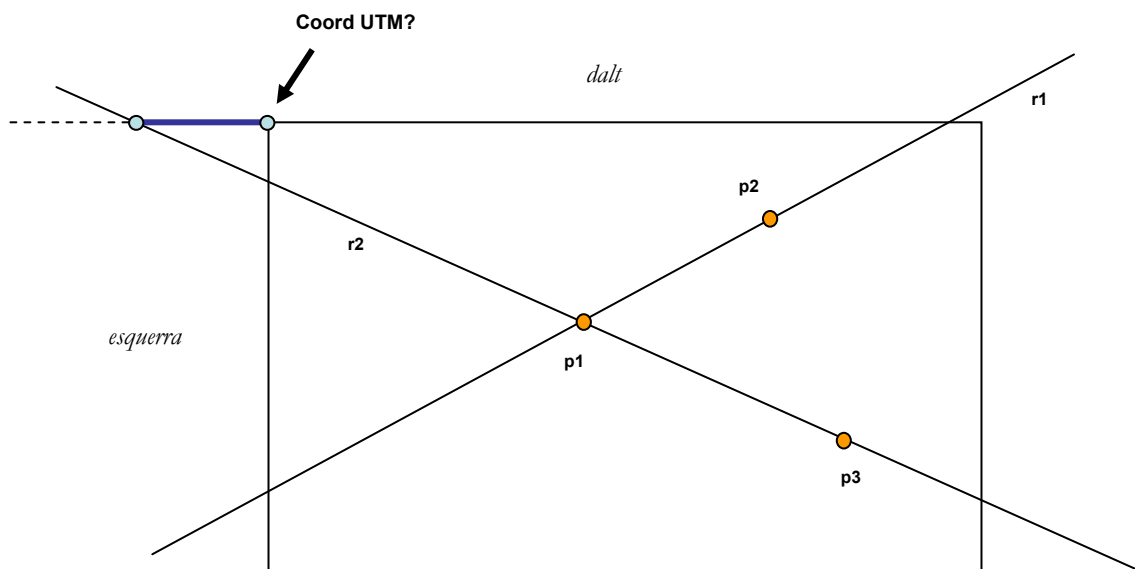
En l'eix de les y , el pas correspon a la variació entre els Northings:

$$pasY = \frac{Northing_{puntTall2} - Northing_{puntTall1}}{x_{puntTall2} - x_{puntTall1}}$$

Per altra banda, en l'eix de les x , el pas correspon a la variació dels Eastings:

$$pasX = \frac{Easting_{puntTall2} - Easting_{puntTall1}}{x_{puntTall2} - x_{puntTall1}}$$

Pas 7.- Per últim, ja només cal trobar, quin és el valor en coordenades UTM de l'origen de la imatge (0,0). Per a dur-ho a terme, s'utilitza el punt de tall que més a prop està de l'origen, és a dir, *puntTall1*.



Com es disposa dels passos corresponents, aquest càlcul és immediat: s'ha de mirar a quina distància es troba *puntTall1* de l'origen i aplicar el passos, tant per a la coordenada x com per a la y .

$$\begin{aligned} \text{origenUTM}_{\text{Northing}} &= \text{Northing}_{\text{puntTall1}} \pm (\text{pasY}^* | x_{\text{puntTall1}} |) \\ \text{origenUTM}_{\text{Easting}} &= \text{Easting}_{\text{puntTall1}} \pm (\text{pasX}^* | x_{\text{puntTall1}} |) \end{aligned}$$

El fet que el càlcul pugui ser amb signe positiu (+) ó negatiu (−) ve condicionat per on queda situat *puntTall1* respecte l'origen. Si queda a la dreta, haurà de ser negatiu mentre que si queda a l'esquerra, serà positiu.

Pas 8.- Com ja s'ha dit al **Pas 2**, ara s'hauria de repetir el procés per al costat esquerre, i així obtenir els passos, que és el que interessa per poder aplicar la fórmula que ens transforma qualsevol punt en coordenades pantalla (*x*,*y*), al seu equivalent en coordenades UTM:

$$\begin{aligned} \text{UTM}_{\text{Easting}} &= \text{Easting}_{\text{puntOrigen}} + (\text{pasXdalt} * x) + (\text{pasXesquerra} * y) \\ \text{UTM}_{\text{Northing}} &= \text{Northing}_{\text{puntOrigen}} + (\text{pasYesquerra} * y) + (\text{pasYdalt} * x) \end{aligned}$$

4.2.1.1. Consideracions respecte el calibratge

Per a obtenir uns resultats més precisos, s'han de distribuir per tot el mapa els punts de calibratge, de manera que s'obtinguin dues rectes que no siguin paral·leles, és a dir, que no coincideixin entre ells, ni en coordenades *x* ni en *y*.

4.3. Transformació de coordenades

Una de les dades necessàries a l'hora de calibrar un mapa és el datum amb què es faciliten les dades. No obstant això, de vegades serà necessari treballar amb una zona calibrada però amb un datum diferent al que s'ha introduït en el procés calibratge, com és el cas de poder tractar les dades rebudes del receptor GPS. Per tant, és imprescindible l'ús de mètodes que permetin transformar les coordenades d'un datum a un altre.

Així doncs, es realitzarà un estudi d'alguns dels mètodes existents que s'apliquen a l'hora de realitzar transformacions de coordenades, és a dir, canvis entre diferents datums.

4.3.1. Mètodes de transformació de coordenades

En el **Capítol 3** s'han estudiat els datums locals, com aquests s'ajusten l'el·lipsoide de referència a una zona concreta, i que n'existeix un de global, el WGS-84, que aproxima la superfície terrestre amb un únic el·lipsoide.

És per aquest motiu que els mètodes de transformació de coordenades el procés que realitzen normalment és el pas de coordenades d'un datum local a WGS-84, o viceversa, ja que normalment els receptors GPS treballen amb coordenades WGS-84 i la informació de calibratge facilitada als mapes acostuma a fer referència al datum local del mapa.

Existeixen diferents mètodes de canvi de datum, segons amb el tipus de coordenades que treballen. Així doncs trobem mètodes que treballen amb:

- Coordenades cartesianes (X, Y, Z).
- Coordenades geodèsiques (graus, minuts, segons).
- Coordenades de la projecció.

Els mètodes que operen amb *coordenades geodèsiques* utilitzen les *Equacions de Molodensky*, o una versió simplificada de les mateixes, anomenada *Abridged-Molodensky*. Aquesta última realitza una transformació amb 3 paràmetres, la qual és útil si la precisió que es busca no és massa acurada. Per altra banda, les Equacions de Molodensky amb més paràmetres, garanteixen una precisió més gran. (Veure **Annex A4**)

Dintre dels mètodes que treballen amb les *coordenades projectades* es troben les transformacions polinòmiques, que utilitzen expressions amb grau de polinomi variable, depenent la distorsió que existeix entre els dos sistemes de coordenades amb què es treballa. Aquest mètode de transformació de coordenades va ser emprat per a fer el canvi de datum Madrid 1870 al datum europeu ED1950.

4.3.1.1. Mètode Bursa-Wolf de set paràmetres

Els mètodes que operen amb coordenades cartesianes tenen com a requisit que aquestes facin referència al centre de massa de l'el·lipsoide. És el que es coneix com a coordenades ECEF (*Earth Centered-Earth Fixed* – Coordenades Geocèntriques fixes).

Per arribar a aquest tipus de coordenades, partint de les UTM del datum origen, s'han de realitzar un seguit de transformacions, que es resumeixen en la **Figura 4.3**.

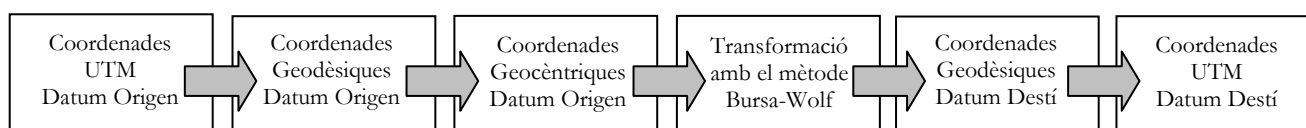


Figura 4.3. Passos en el canvi de coordenades Bursa-Wolf.

El mètode Bursa-Wolf, situat enmig d'aquestes transformacions, va ser formulat el 1962 per Bursa i completat per Wolf el 1963 i és el més utilitzat actualment pels sistemes de posicionament global.

A l'**Annex A5** es troba descrit el procés matemàtic que hi ha darrere de la transformació de datum emprant el mètode Bursa-Wolf de set paràmetres, acompanyat d'un exemple desenvolupat etapa a etapa i que permet veure les transformacions successives que s'apliquen a les coordenades inicials.

4.4 Importància del datum en el calibratge

La tria del datum correcte en un mapa a l'hora de realitzar un procés de mapejat és primordial per a assegurar que la representació de la ubicació de l'observador serà la correcta, o si per contra, s'obindrà un posicionament erroni.

Per tal de demostrar-ho, s'ha realitzat un experiment empíric, utilitzant una de les funcionalitats que implementa l'aplicació que acompanya el projecte, com és el calibratge de mapes.

Primer s'ha realitzat un calibratge correcte, utilitzant el datum i les coordenades UTM que corresponen realment al mapa. Un cop el mapa estigui ben calibrat es comprovarà quin és l'efecte que produeix estar treballant amb la representació errònia del mapa mitjançant un datum de dades incorrecte.

El mapa utilitzat ha estat el de l'ETSE a la Universitat Autònoma.

Les dades necessàries, referents al calibratge són:

- Els tres punts de calibratge que es poden consultar a la **Taula 4.2**.
- Datum correcte ED1950 i datum incorrecte WGS-84.
- La projecció UTM.

	EASTING	NORTHING	ZONA	HEMISFERI
Punt 1	425000	4595000	31	N
Punt 2	426000	4595000	31	N
Punt 3	426500	4594500	31	N

Taula 4.2. *Punts de calibratge.*

Així doncs, es situen els punts de calibratge sobre el mapa, coneixent a quina ubicació corresponen gràcies a les dades facilitades pel mapa d'on ha estat extreta aquesta porció, tot emprant el datum correcte. (**Figura 4.4**).

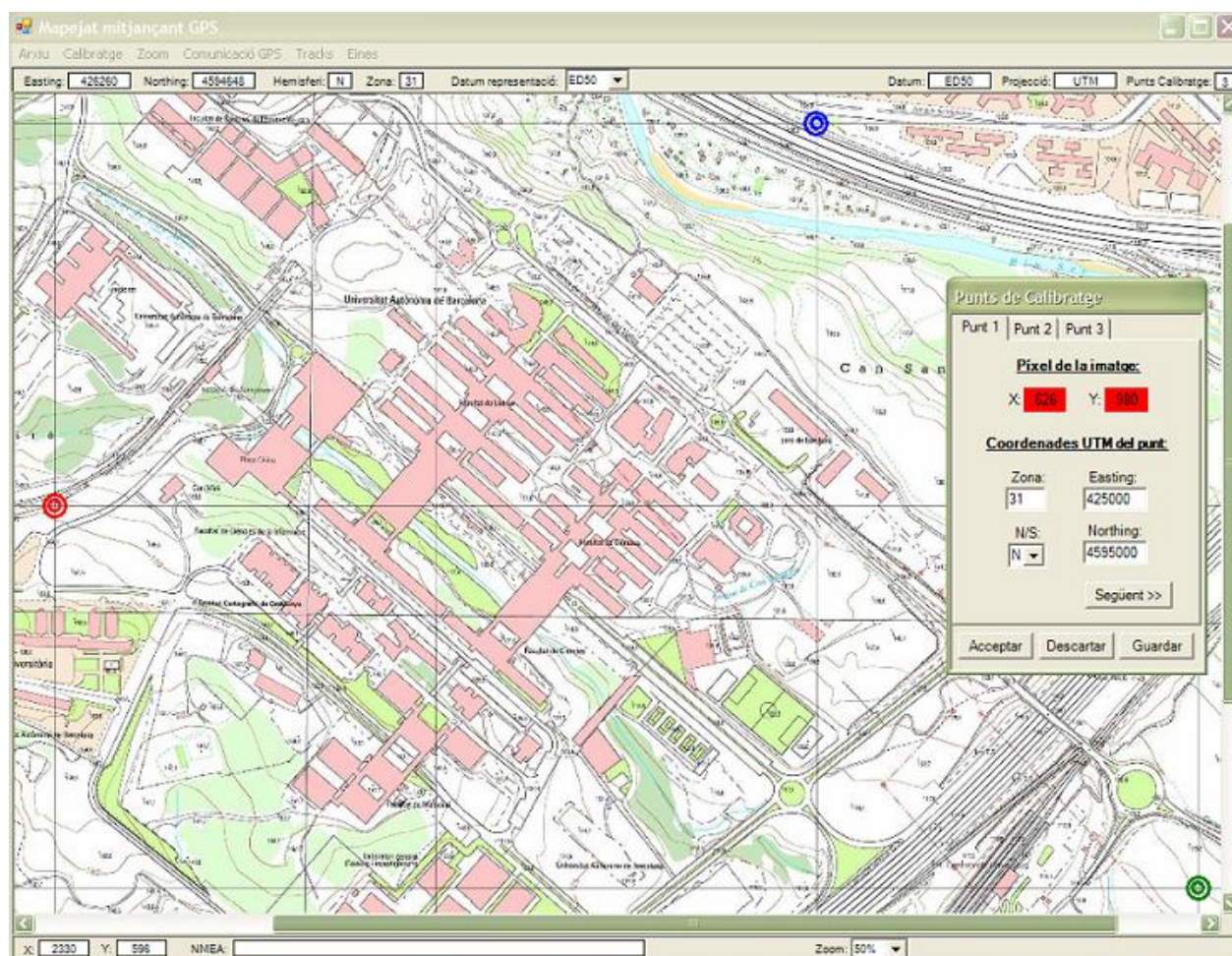


Figura 4.4. Els tres punts introduïts amb el datum correcte.

Es situa el ratolí sobre un lloc de referència, com és el punt marcat a la **Figura 4.5** i s'obtenen les coordenades UTM que es mostren a la **Taula 4.3**.

EASTING	NORTHING	ZONA	HEMISFERI
426074	4594736	31	N

Taula 4.3. Coordenades UTM de l'ETSE amb el datum correcte.

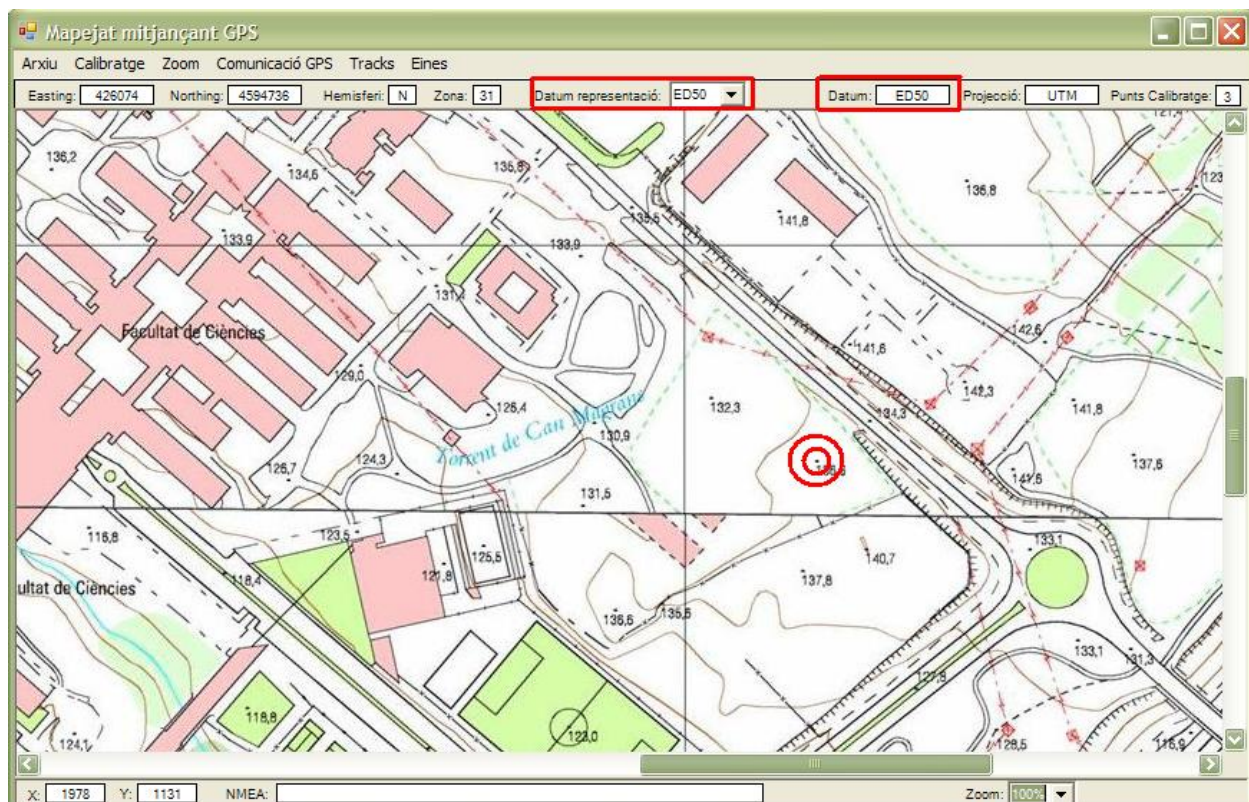


Figura 4.5. Coordenades obtingudes a la posició on està situada l'ETSE amb el datum correcte.

Ara es repeteix el procés, agafant els mateixos punts de calibratge, però indicant com a datum el que es sap que és incorrecte, el WGS-84. (Figura 4.6)



Figura 4.6. Recalibratge del mapa canviant només el datum del mapa.

Però per poder comparar les coordenades, en ambdós casos han de estar representades amb en el mateix datum. El datum triat és ED50, així que es selecciona el mateix a l'aplicació. (Figura 4.7)

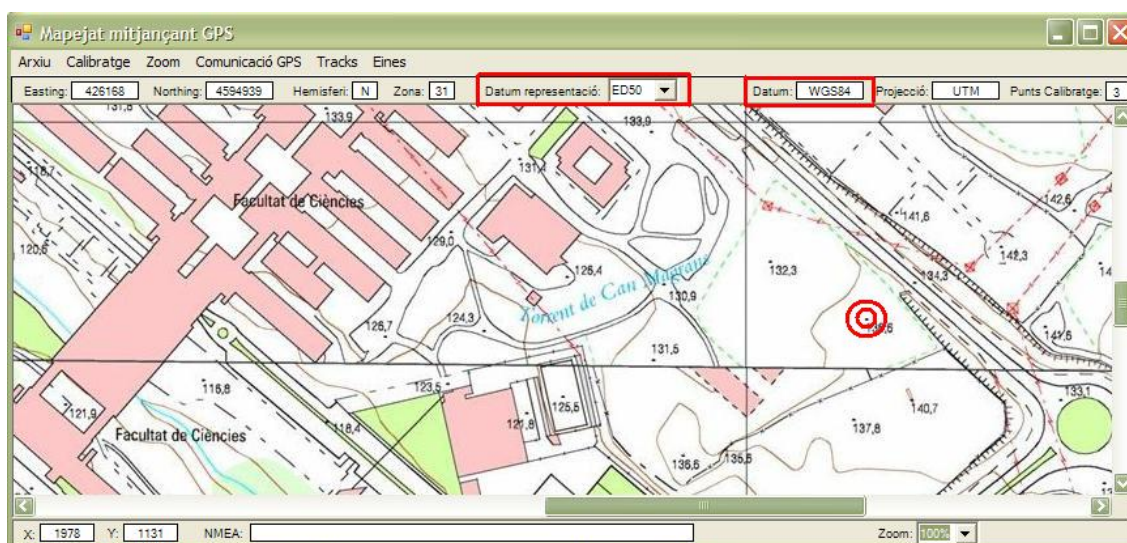


Figura 4.7. Les mateixes coordenades obtingudes però amb el datum incorrecte.

A la **Taula 4.4** es poden observar les coordenades UTM i es pot comprovar que, tot i estar amb el mateix datum de representació, no coincideixen amb les obtingudes a la **Taula 4.3**, tot i estar marcant exactament el mateix punt sobre el mapa.

EASTING	NORTHING	ZONA	HEMISFERI
426168	4594939	31	N

Taula 4.4. Coordenades UTM de l'ETSE amb el datum incorrecte.

El concepte que explica aquesta diferència de coordenades és senzill: com cada el lipsoide de referència té uns paràmetres que el defineixen i són diferents dels de la resta d'el lipsoides, els datums associats a cadascun d'ells fan que un punt sobre la superfície terrestre tingui diferent representació tant en coordenades geodèsiques com en coordenades UTM. (**Figura 4.8**)

En haver triat un datum de calibratge erroni en el segon cas, s'ha calibrat considerant unes coordenades amb un altre datum, i per tant, quan s'ha escollit com a datum de representació el correcte de les dades, s'han obtinguts unes d'errònies.

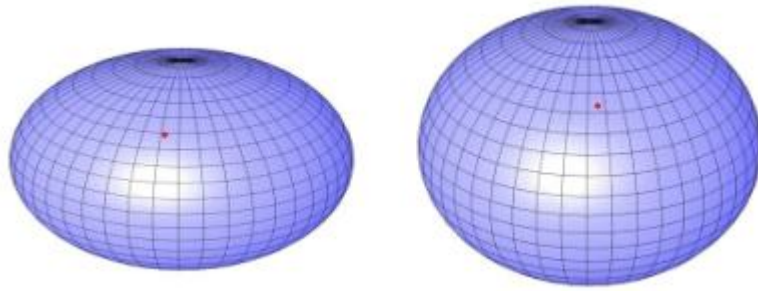
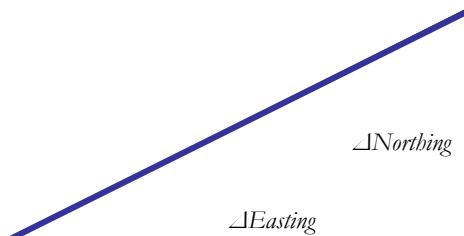


Figura 4.8. Dos datums diferents representen el mateix punt amb coordenades diferents.

Les implicacions són importants: no conèixer el datum amb què han estat preses les coordenades en un mapa, suposa gairebé del cert, un posicionament incorrecte quan es rebin dades del receptor GPS, amb una diferència que pot ser de centenars de metres. (Veure **Capítol 5**)

En el cas que s'ha considerat, l'error obtingut es pot calcular mitjançant el teorema de Pitàgores. Això és degut a què la superfície a tractar és prou petita com per no tenir en compte les deformacions que es produeixen per l'esfericitat de la terra. (**Figura 4.9**)



$$\Delta Easting = |426168 - 426074| = 94 \text{ metres}$$

$$\Delta Northing = |4594736 - 4594939| = 203 \text{ metres}$$

$$d = \sqrt{\Delta Northing^2 + \Delta Easting^2} = 223,71 \text{ metres}$$

Figura 4.9. Càlcul de l'error comés.

Es pot comprovar que l'error comés ha estat de 223,71 metres, un valor no gens menyspreable.

5. CONEIXEMENT DE LA POSICIÓ

5.1. Adquisició de dades

Fins ara s'ha vist el funcionament del mapejat de manera que s'ha obtingut una representació plana de la terra, calibrada segons la projecció UTM. Ara es farà un pas endavant i s'obtindran dades a través de fonts externes que contindran informació respecte la posició actual de l'observador.

Aquesta font de dades és un receptor GPS que es comunica via Bluetooth, amb un adaptador connectat a un port USB del PC. El receptor GPS serà l'encarregat de proporcionar les dades que obtingui dels satèl·lits GPS que hagi a la vista, mentre que l'adaptador Bluetooth farà d'*interface* per a aconseguir les dades que li proporciona primer.

En aquest capítol s'estudia quin és el viatge que realitzen les dades dins la constel·lació GPS, com s'obtenen aquestes dades per a poder treballar amb elles, i quin és el "llenguatge" que utilitza un receptor GPS per a comunicar-se amb el PC. Serà mitjançant aquest llenguatge, amb què s'obtindran les dades per a dur a terme el posicionament sobre un mapa.

5.2 Dades enviades pels satèl·lits

La constel·lació GPS està formada per vint-i-quatre satèl·lits en sis òrbites diferents, donant dues voltes a la terra cada, aproximadament, 24 hores (una cada 11 hores i 58 minuts). Cadascun d'aquests satèl·lits envia el següent conjunt de dades:

- Un codi pseudo-aleatori (PRN).
- Efemèrides.
- Dades posicionals.

El codi pseudo-aleatori indica quin és el satèl·lit del qual s'està rebent informació, és a dir, és un codi d'identificació que pot prendre valors d'1 a 32. El motiu de que hi hagi fins a 32 és pel fet que a mesura que un satèl·lit comença a fallar, un altre els substitueix abans de que surti totalment de funcionament.

Les dades d'efemèrides són dades enviades de manera constant per cada satèl·lit amb informació respecte l'estat del mateix satèl·lit i dades sobre data i hora.

Les dades posicionals informen al receptor GPS de la posició de cada satèl·lit a cada moment. Un satèl·lit informa de la seva posició i de la de la resta de satèl·lits de la constel·lació.

Així, triangulant amb diferents satèl·lits que es tinguin a la vista, i calculant diferències de temps entre l'hora que marca com a enviat el satèl·lit i l'hora rebuda, es pot determinar quina és la posició actual de l'observador.

La informació rebuda pels satèl·lits, ha de ser tractada per tal de poder ser processada. Els receptors GPS són els encarregats d'aquest procés de traducció de dades. Mitjançant una *interface*, com és el port sèrie amb el protocol RS-232, el receptor envia les dades de posicionament i velocitat en un format adient perquè puguin ser tractades.

5.3 Formats d'interpretació de les dades

Existeixen diferents formats de dades amb què treballen els receptors GPS. N'hi ha un però que tot receptor GPS porta incorporat. És el conegut estàndard NMEA.

D'altres formats propietaris han estat creats per empreses fabricants de receptors GPS, com SiRF o Motorola, que tenen l'inconvenient que només es poden emprar en cas de treballar amb productes d'aquestes marques, i el problema que suposa en fer un canvi de receptor.

5.3.1. NMEA

L'estàndard NMEA (*National Marine Electronics Association* – Associació Nacional Marina Electrònica) és el format de dades que la majoria de dispositius marítims incorpora. Els receptors GPS i els programes de mapejat que proporcionen posicionament en temps real també han optat per implementar aquest estàndard.

NMEA inclou informació completa sobre posició, velocitat i temps (P,V,T), informació necessària per a realitzar un correcte posicionament sobre la terra.

La idea bàsica del funcionament de NMEA és l'enviament d'una línia de dades, anomenada *frase* o *sentència* (sentence) que conté tota la informació i és independent de la resta de frases.

Existeixen un seguit de frases estàndard comuns a tots els dispositius, però alhora també n'hi ha d'altres que han estat creades per empreses comercials, i que només les utilitzen els seus receptors.

Per a diferenciar-les, totes les frases estàndard de NMEA comencen per un prefix de dues lletres, que en el cas dels dispositius GPS és "GP", seguit per tres lletres que defineixen el tipus de frase. En el cas de frases propietàries, aquestes sempre comencen per la lletra "P", i a continuació tres lletres que identifiquen el tipus de receptor GPS al qual poden controlar. Els dos tipus de receptors més utilitzats són els Garmin, que identifiquen les seves frases com a PGRM, i els Magellan, identificats per PMGN.

CAMP	DESCRIPCIÓ
\$	Inici d'una frase
GP	Informació tipus GPS
XXX	Identificador del tipus de dades
info	Informació numèrica
,	Separador d'ítems
*	Separador de checksum
CS	Checksum
<CR><LF>	Carry return, line feed

Taula 5.1. Camps que formen una frase NMEA estàndard.

Cada frase NMEA comença amb un símbol del dòlar '\$', i finalitza amb un retorn de carro '<CR>' i un indicador de línia finalitzada '<LF>'. La longitud màxima d'una frase és de 80 caràcters de text, amb camps separats per comes. El contingut són caràcters ASCII que en una sola línia contenen tota la informació d'una frase.

En cas que algun camp no estigui disponible el camp simplement és omès, però les comes que el delimiten s'envien igual, sense cap espai entre elles.

Com a mesura de protecció per a evitar processar comandes errònies, les frases NMEA disposen d'un camp de *checksum* que consisteix en un asterisc '*' seguit de dos nombres hexadecimals que representen la funció XOR dels caràcters que hi ha entre el '\$' i el '*' sense incloure'ls. Aquest camp és opcional, tot i que algunes comandes sí que el tenen com a obligatori. (Veure **Taula 5.1**)

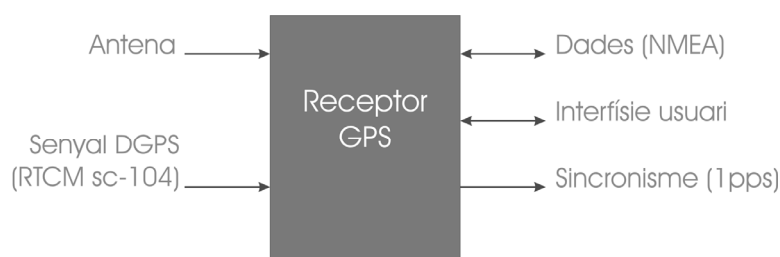


Figura 5.1. Esquema d'un receptor GPS.

Des de la seva creació el 1983 l'estàndard NMEA ha patit diverses revisions. El protocol ha canviat el nombre i el tipus de les frases en cadascuna d'elles. La majoria de receptors GPS es comuniquen mitjançant l'estàndard anomenat *0183 versió 2*.

Aquest estàndard utilitza una taxa de transferència via port sèrie de 4800 bauds, la qual cosa permet enviar fins a sis sentències NMEA per segon ($4800 / 80$), tot depenent de la llargada d'aquestes.

5.3.2. SiRF

SiRF és alhora una família de microxips i un protocol que utilitzen alguns dispositius GPS com a alternativa a NMEA. En la seva vessant de protocol, serveix com a base per a més de quinze protocols propietaris.

En la **Taula 5.2** es poden observar el conjunt de missatges més importants que formen aquest protocol.

#	NOM	DESCRIPCIÓ
2	Measure navigation data	<i>Posició, velocitat i temps</i>
4	Measured tracking data	<i>S/N, elevació i azimuth</i>
5	Raw track data	<i>Mesura de distància 'tal qual'</i>
6	SW version	<i>Software del receptor</i>
7	Clock status	<i>Status de la mesura del temps</i>
8	50BPS data subframe	<i>Informació del receptor</i>
9	Throughput	<i>Rendiment de la CPU</i>
11	Command Acknowledgement	<i>Confirmació de la recepció</i>
12	Command NAcknowledgement	<i>Petició fallada</i>
13	Visible list	<i>Nombre de satèl·lits visible</i>
14	Almanac data	<i>Almanac</i>
15	Ephemerides data	<i>Efemèrides</i>
18	OkToSend	<i>Status On/Off de la CPU</i>
19	Navigation parameters	<i>Resposta a una comanda POLL</i>
255	Development data	<i>Ítems interns d'informació</i>

Taula 5.2. *Conjunt de missatges emprats.*

5.4. Reconeixement de dades de l'aplicació

El format de dades que reconeix l'aplicació que acompanya el projecte és l'estàndard NMEA, ja que com s'ha dit, no depèn del receptor GPS de què disposem ja que tots estan capacitats per a transmetre emprant aquest format.

El tractament s'aplica sobre la frase GPRMC, que proporciona informació sobre posició, velocitat i temps (P,V,T). S'anomena *Recommended Minimum Data*, la qual cosa implica que conté la informació essencial per a poder realitzar el posicionament.

En la **Taula 5.3** es troba un exemple de la frase GPRMC, amb una explicació de què representa cadascun dels camps.

RMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230406,003.1,W*6A

CAMP	EXEMPLE	COMENTARI
Típus de sentència	RMC	
Temps Universal	123519	<i>hhmmss</i>
Estat	A	<i>A = Actiu, V = Invàlid</i>
Latitud	4807.038	<i>ggmm.mmm</i>
Indicador N/S	N	<i>N = Nord, S = Sud</i>
Longitud	01131.000	<i>gggmm.mmm</i>
Indicador E/W	E	<i>E = Est, W = Oest</i>
Velocitat sobre el terra	022.4	<i>Velocitat en nusos</i>
Direcció sobre el terra	084.4	<i>Angle en graus</i>
Data Universal	230406	<i>ddmmaa</i>
Variació magnètica	003.1	<i>En graus</i>
Direcció de la variació	W	<i>E = Est, W = Oest</i>
Checksum	*6A	

Taula 5.3. *Format de la frase GPRMC.*

S'ha triat aquesta frase NMEA, perquè a partir d'ella es pot obtenir la latitud i longitud de l'observador, coordenades que un cop tractades, s'utilitzen per a dur a terme el posicionament sobre un mapa en pantalla.

Per a conèixer les altres sentències NMEA, així com una descripció sobre les que proporcionen informació addicional sobre posicionament, es pot consultar l'**Annex A6**.

6. APLICACIÓ PFC

6.1. Introducció

Els fonaments teòrics vistos en els capítols anteriors, juntament amb els coneixements adquirits respecte a la programació en Visual Basic.NET, han donat lloc a l'aplicació que acompanya aquest projecte.

La principal motivació per al desenvolupament d'aquesta aplicació ha estat poder comprovar què s'amaga darrere de les aplicacions comercials que duen a terme un mapejat amb dades rebudes a través de GPS, i realitzar una aproximació al seu funcionament, tot mimetitzant una part de les funcionalitats que porten implementades la majoria d'elles.

6.2. Funcionalitat implementada

L'aplicació que s'ha creat porta implementada la següent funcionalitat:

- *Càrrega i tancament de mapes.* Permet carregar i tancar mapes en format jpg.
- *Calibratge de mapes.* Capacitat de nous calibratges, carregar calibratges prèviament emmagatzemats, recalibratge.
- *Representació d'un mapa calibrat amb diferents datums.* Un mapa ja calibrat es pot veure amb representació en altres datums, seleccionats per l'usuari.
- *Zoom.* Diferents nivells de zoom per a treballar amb mapes de diferents mides.
- *Comunicació GPS.* Configuració de ports COM. Establiment i aturada de comunicació amb un dispositiu GPS.
- *Gestió de tracks.* Permet carregar tracks generats per l'aplicació OziExplorer i representar-los a sobre del mapa actual. Opció d'ocultació.
- *Eines addicionals.* Transformació de datums de coordenades UTM.

- *Informació per pantalla.* Visualització per pantalla de tota la informació referent al mapa carregat tant en coordenades pantalla com en coordenades UTM. Informació del calibratge i de les comandes NMEA rebudes.
- *Tasques comuns.* Accés més ràpid a opcions com el zoom o el canvi de representació de datum.
- *Dreceres de teclat.* Un ampli conjunt de dreceres que permet treballar d'una manera més àgil amb les característiques més emprades.

6.3. Tractament de les dades

La funcionalitat deixa entreveure que l'aplicació és una eina de transformació de dades, tant de dades rebudes d'un GPS, com de gestió de les dades contingudes als tipus d'arxiu que pot manegar, així com les introduïdes per l'usuari.

En la **Figura 6.1** s'observa un esquema de quines són les diverses fonts de les dades que pot manegar l'aplicació.

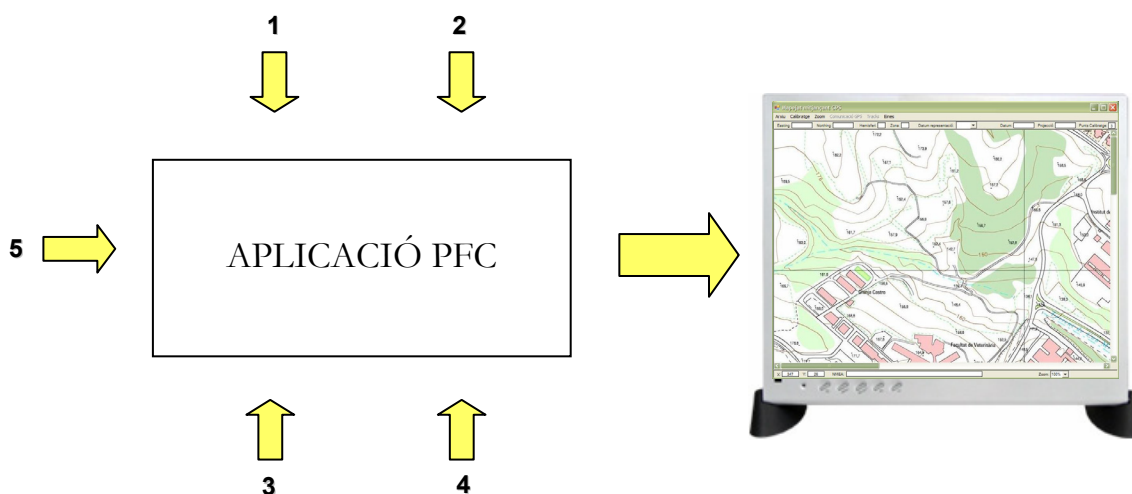


Figura 6.1. L'aplicació vista com una caixa negra..

L'aplicació pot rebre i tractar informació de diverses fonts. L'objectiu de totes elles és produir canvis d'estat sobre el mapa carregat a l'aplicació. A continuació es mostren quines poden ser aquestes fonts:

1. *Inputs de l'usuari*. Posicionament actual del mouse i el seu tractament, i introducció de dades com noms d'arxiu. Interacció a través dels menús i dreceres.
2. *Dades de calibratge*. Capacitat de gestió de les dades introduïdes de forma manual per l'usuari, així com a través de fitxers de calibratge. S'ha de realitzar una transformació de coordenades UTM a coordenades pantalla de les dades obtingudes.
3. *Datum de representació*. En temps d'execució s'ha de realitzar un canvi sobre la representació del calibratge d'acord amb l'elecció de l'usuari. Això comporta transformació de coordenades entre datums i una posterior transformació a coordenades pantalla.
4. *Tracks*. A través de la lectura de fitxers, les dades contingudes en aquests han de ser transformades de coordenades geogràfiques a UTM, i d'UTM a coordenades pantalla, segons el datum actual.
5. *Receptor GPS*. Es reben dades NMEA que han de ser capturades quan es detecten al port COM associat al GPS. S'ha de dur a terme, primer una gestió de les comandes rebudes, després realitzar un canvi de coordenades de coordenades geogràfiques a UTM, i posteriorment aquestes UTM a coordenades pantalla.

Es pot comprovar que totes les entrades necessiten un processament de les dades. Els canvis més habituals són les transformacions de coordenades, ja que es treballa amb fins a quatre tipus diferents (UTM, geogràfiques, geodèsiques i pantalla). Cal remarcar que en darrera instància sempre és necessària una representació de qualsevol tipus de coordenades a coordenades pantalla, ja que és l'única manera de poder representar les dades sobre el mapa carregat i mostrat en pantalla.

6.4. Desenvolupament de l'aplicació

El treball amb Visual Basic es basa en formularis, que corresponen a les diferents finestres de l'aplicació. Així, es pot generar un esquema amb les relacions que es creen entre els formularis creats i les funcionalitats que implementen. (**Figura 6.2**)

El treball amb formularis implica d'una banda treballar de manera gràfica per a ubicar els components a cada finestra (mode disseny), i per altra banda codificar les accions associades a aquests elements o events sobre ells, així com funcions auxiliars (mode codi).

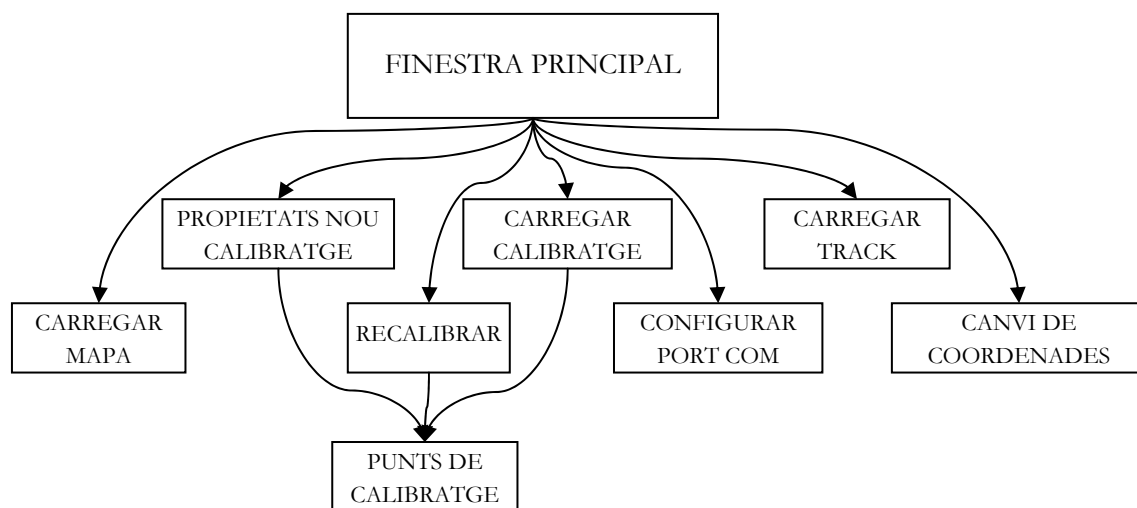


Figura 6.2. Formularis de l'aplicació i relacions.

A banda de formularis, també s'han implementat classes i mòduls, que contenen la part més important respecte als càlculs i les operacions que realitza l'aplicació. Cadascun d'ells ha servit per a cobrir les necessitats d'ús d'alguna funcionalitat:

- Classe *elipsoide*. Crea instàncies de diferents el lipsoides de referència, d'acord amb els paràmetres d'aquests. També inclou càlcul de paràmetres que s'utilitzen en l'operació de canvi de datum.

- Classe *canvidatum*. És l'encarregada de realitzar la transformació de coordenades entre dos datums diferents. Porta codificat el mètode Bursa-Wolf de set paràmetres (Veure **Annex A5**). Necessita dues instàncies de la classe *elipsoide* per a generar els elipsoides d'origen i destí dels datums que es consideren.
- Classe *costats*. Implementa l'algorisme que retorna, d'acord amb els punts de calibratge i datum actuals, quin és el pas (o variació de coordenada per cada píxel) que representa a cada un dels quatre costats de la pantalla. S'utilitza per a realitzar la correspondència entre coordenades UTM en coordenades pantalla, segons el datum actual. (Veure **Apartat 4.2.1**)
- Classe *NmeaInterpreter*. Un cop rebuda una sentència NMEA del receptor GPS, mitjançant aquesta classe es gestionen els diferents camps que la componen.
- Mòdul *mdlVarsCompartides*. Conté variables, moltes d'elles de control, que són utilitzades per diferents formularis. També conté estructures

En la **Figura 6.3** es pot veure com estan relacionades aquestes classes i mòduls amb els formularis que formen l'aplicació.

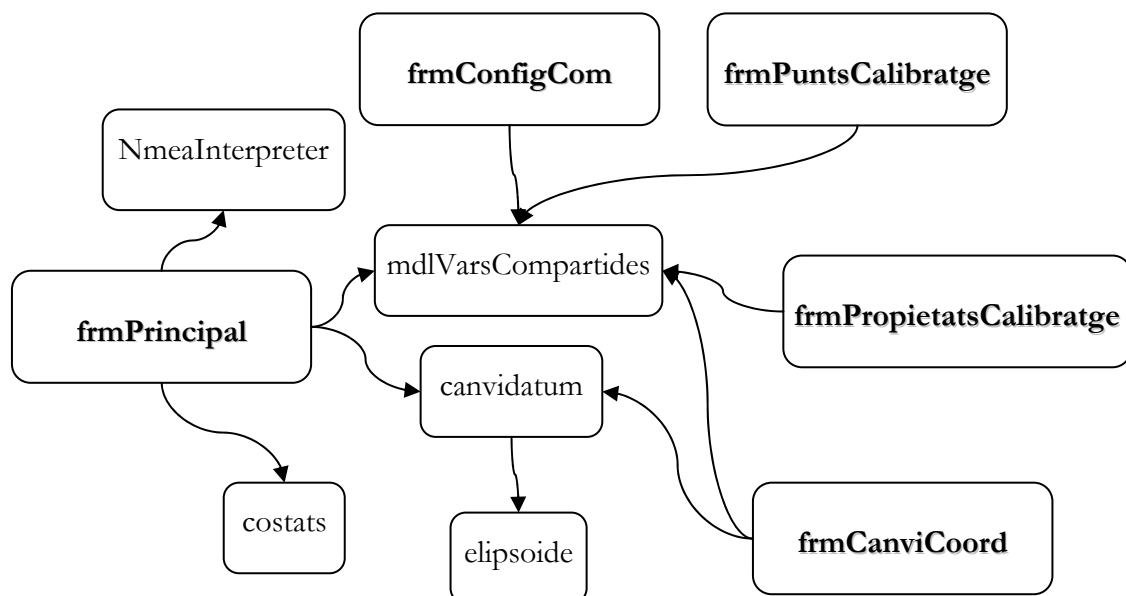


Figura 6.3. Dependència de classes i mòduls respecte els formularis de l'aplicació.

Ara cal veure què conté cadascun dels formularis des del punt de vista funcional, ja que des del punta de vista del disseny és evident quan s'executa l'aplicació.

- *frmPrincipal*. Encarregat de gestionar la major part de les accions que pot realitzar l'aplicació, ja que porta implementada la interacció amb l'usuari i el menú principal, així com el tractament del mapa (redibuixar punts, actualitzar-los, etc). També s'encarrega d'iniciar i aturar la comunicació a través del port COM seleccionat, així com d'actualitzar la informació mostrada per pantalla de propietats de calibratge, coordenades UTM actuals, dades NMEA rebudes, recalibratge del mapa, etc. Conté les crides als altres formularis de l'aplicació.
- *frmPropietatsCalibratge*. Emmagatzema les dades que introdueix l'usuari sobre les propietats del nou calibratge a realitzar sobre el mapa.
- *frmPuntsCalibratge*. Mitjançant una combinació de dades obtingudes en aquest formulari (coordenades UTM) i en el formulari principal (coordenades pantalla), s'emmagatzemen per a dur a terme el calibratge del mapa actual.
- *frmCongifCOM*. És el formulari que permet a l'usuari modificar les dades del port COM a utilitzar, així com dels paràmetres d'aquests. Deixa preparades les propietats del port perquè pugui ser iniciat.
- *frmCanviCoord*. Utilitza la classe *canvidatum* per a realitzar una transformació de coordenades d'acord amb les dades introduïdes al formulari per l'usuari.

Al **Manual de l'Aplicació** es pot trobar com emprar les funcionalitats implementades a l'aplicació.

7. CONCLUSIONS I MILLORES

7.1. Conclusions

Com s'ha pogut comprovar, la base teòrica del món de les comunicacions GPS és molt forta. Hi ha involucrats un gran nombre de camps de la ciència, que en combinació amb la tecnologia, han donat lloc a aquest sistema de posicionament.

És per aquest motiu que el projecte s'ha desenvolupat en el marc de l'estudi del posicionament d'objectes sobre la terra mitjançant l'obtenció de les dades que envien els satèl·lits en un receptor GPS, i el tractament i la representació duta a terme d'aquestes dades, amb la implementació d'una aplicació software que les gestiona.

Un fet que es podria considerar tan simple com situar un objecte sobre un mapa, ha esdevingut una tasca on s'han hagut de tenir en compte molts aspectes, tant teòrics com d'implementació.

Respecte els aspectes teòrics, s'ha tractat amb diferents ciències com la cartografia o la geodèsia, i s'ha comprovat quines eines han estat útils per al desenvolupament del projecte. Per tant, s'ha hagut de fer un estudi d'aquestes eines, i de com poder-les aprofitar per a dur a terme la implementació de l'aplicació.

És precisament en la implementació on han sorgit els aspectes més interessants. Un d'ells és, per exemple, el fet d'haver estat treballant constantment amb quatre tipus de coordenades. Ha estat així perquè, depenent de la font d'on provenien les dades (fitxers, receptor, etc), aquestes es trobaven expressades en un o altre tipus de coordenades. S'han hagut d'implementar algorismes que finalment acabessin expressant aquestes coordenades, en coordenades pantalla.

També són interessants els aspectes d'implementació relacionats amb l'opció de canvi de datum de l'aplicació. El fet que l'usuari calibri el mapa amb un datum, i es permeti la representació amb altres de diferents, ha fet que s'hagués de treballar amb dos datums alhora: l'original, emmagatzemat de manera permanent, i un de temporal, que varia segons

els interessos de l'usuari. Això implica que es tenen definits dos datums sobre un mateix mapa, i per tant, s'ha de tenir present sobre quin es treballa en tot moment.

Val a dir que aquests aspectes que han suposat algun tipus de dificultat o dedicació extra, han provocat que l'interès pel tema anés en augment a mesura que s'avançava en el projecte, i que aquestes dificultats no fessin altra cosa que motivar la cerca de solucions per a resoldre-les.

7.2. Millors

Es pot considerar que els objectius inicials que s'havien previst per a aquest projecte s'han acomplert, encara que alguns d'ells de manera parcial. A continuació es tracten els aspectes que es consideren susceptibles de millora.

En primer lloc podem parlar de l'algorisme de calibratge, i com ha estat la seva implementació. Com s'ha vist en l'**Apartat 4.2.1**, el nombre de punts emprats ha estat prefixat a tres, i es basa en el tractament dels límits del mapa per a realitzar-lo.

El fet de treballar amb coordenades UTM fa que aquesta aproximació no sigui del tot correcta, ja que com ja s'ha comentat respecte a aquestes coordenades, no mantenen les àrees constants en la seva representació, mentre que l'algorisme considerat sí que les hi considera.

El principal motiu pel qual s'ha acceptat aquest mètode de calibratge, és perquè la implementació de l'algorisme està pensada per a treballar dins d'una mateixa zona UTM. En aquest cas, i com la zona a representar no és relativament gran, les deformacions respecte la zona UTM no són apreciables, i el calibratge es realitza correctament.

No obstant, és una limitació important, ja que implica que no es troba contemplat el cas que hagi un "salt" de zona. Aquest fet està relacionat amb les fronteres entre zones UTM. Treballar amb coordenades UTM té la dificultat afegida que la coordenada origen d'una zona correspon a un meridià, i en cas de tractar amb mapes que contenen coordenades

amb dos o més zones UTM, s'hauria de treballar amb sistemes de representació basats en els punts definits, i les relacions entre ells, i les zones a què pertanyen, i no pas amb el contorn del mapa.

Per altra banda, limitar el nombre de punts de calibratge, també fa que l'aproximació a la representació sigui força acurada, però és evident que amb un major nombre de punts, aquesta representació ho seria encara més.

Així doncs, respecte al calibratge es podrien introduir dues millores: per una banda contemplar la possibilitat del salt de zona, i per l'altra donar l'opció de definir un major nombre de punts de calibratge.

Un altre dels punts de millora possible és en el tractament de frases NMEA. L'aplicació està preparada per a tractar el tipus de frase GPRMC, que conté la informació necessària per a realitzar el posicionament. De totes maneres, es podrien haver considerat altres frases d'aquest estàndard, i amb elles afegir noves funcionalitats a l'aplicació, com pot ser conèixer quins satèl·lits tenim a la vista i ens estan transmetent informació.

Acceptar els aspectes que s'han vist fins ara com a vàlids, ha vingut condicionat per l'endarreriment temporal que suposava en el desenvolupament de l'aplicació el fet de no fer-ho. Així doncs, hi ha hagut un condicionant temporal força important a l'hora de desenvolupar el projecte, causat pel fet que els coneixements aplicats es troben molt relacionats els uns amb els altres. Tant és així, que aquesta dependència ha provocat que, fins que no es tenia implementada alguna de les funcionalitats, les que depenien d'aquesta no podien ser incloses.

Per últim, cal comentar que en el moment de redacció d'aquesta memòria s'està treballant en el desenvolupament d'una funcionalitat no mencionada fins el moment, com és la inclusió d'estadístiques sobre les dades de posicionament rebudes, i una representació gràfica de les mateixes.

8. BIBLIOGRAFIA

Geodèsia i Cartografia

- ✓ *Geodetic Datum Overview*
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/datum_ftoc.html
- ✓ *Geodesia*
<http://es.wikipedia.org/wiki/Geodesia>
- ✓ *Geodetic Data*
<http://www.aec2000.it/geodesy/geodesy.htm>
- ✓ *Datums*
<http://www.rtm.es/datums.htm>
- ✓ *WGS 84 - World Geodetic System 1984*
<http://www.wgs84.com/>
- ✓ *Geodesia y Cartografia*
<http://html.rincondelvago.com/geodesia-y-cartografia.html>
- ✓ *Geometric Aspects of Mapping*
<http://kartoweb.itc.nl/geometrics/index.asp>
- ✓ *Cartesia.org*
<http://www.cartesia.org/>
- ✓ *Coordinate Systems*
http://www.posc.org/Epicentre.2_2/DataModel/ExamplesofUsage/eu_cs.html

- ✓ *Coordinate Systems and Transformations*
<http://www.spennis.oma.be/spennis/help/background/coortran/coortran.html>
- ✓ *Nociones Básicas Sobre Proyecciones Cartográficas*
<http://nivel.euitto.upm.es/~mab/tematica/htmls/proyecciones.html>
- ✓ *Coordenadas UTM*
http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html
- ✓ *Geographic/UTM Coordinate Converter*
<http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html>
- ✓ *Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)*
<http://www.icc.es>
- ✓ *Instituto Geográfico Nacional (IGN)*
<http://www.ign.es>

Calibratge i canvis de coordenades

- ✓ *Cómo calibrar un mapa con OziExplorer*
<http://www.elgps.com/ozi/calibrarmapa/calibrarconozi.html>
- ✓ *Aprende a convertir coordenadas geográficas en UTM y UTM en geográficas*
<http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=058a>
- ✓ *Conversión de datum con el modelo de 7 parámetros Bursa-Wolf*
<http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=064>
- ✓ *Criteris Geodèsics en els canvis de sistema de referència*
<http://www.creaf.uab.es/MiraMon/publicat/papers/sitges00/calcggeo.htm>

Coneixement de la posició i NMEA

- ✓ *Teoría del Sistema GPS*
<http://www.ibertronica.es/Garmin/TeoriaGPS.htm>
- ✓ *NMEA Data*
<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
- ✓ *NMEA*
http://www.marimsys.com/paginas/nmea_codigo.htm
- ✓ *The NMEA FAQ*
<http://vancouver-webpages.com/peter/nmeafaq.txt>
- ✓ *Common NMEA Setence types*
http://www.commlinx.com.au/NMEA_sentences.htm
- ✓ *Glenn Baddeley - GPS - NMEA sentence information*
<http://www.werple.net.au/~gnb/gps/nmea.html>

Visual Basic.NET

- ✓ *El Guille – La web de la programación*
<http://www.elguille.info/>
- ✓ *MSDN Forums*
<http://forums.microsoft.com/MSDN/>
- ✓ *The Code Project*
<http://www.codeproject.com/>

Altres fonts

- ✓ *Google*
<http://www.google.es>
- ✓ *Yahoo*
<http://www.yahoo.es>
- ✓ *Introducció a les comunicacions GPS*. Joan Oliver. 2006